3

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Paul BERT

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Lauréat de l'Académie des sciences (prix de physiologie expérimentale, 1865)

Lauréat de l'Institut (grand prix biennal, 1875)



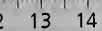
(Novembre 1878)

PARIS

IMPRIMERIE EMILE MARTINET

HÔTEL MIGNON, RUE MIGNON, 2

1878



PREMIÈRE PARTIE

PHYSIOLOGIE ANIMALE

A. — Greffe animale et vitalité des tissus animaux.

Mes expérieuces sur la greffe animale et sur la vitalité des tissus, présentées en 1862 et 1863 aux Sociétés philomathique et de biologie, ont été reunies dans deux thèses dont l'analyse suffira pour donner une idée des questions soulevées et résolues.

C'est aux résultats de ces travaux que l'Académie a accordé le prix de *Physiologie expérimentale* en 1865.

I. — *De la greffe animale.*

Thèse pour le doctorat en médecine, 1863. In-4, 110 pages.

Ce travail embrasse la question dans son ensemble, tout en l'envisageant particulièrement au point de vue chirurgical.

Il est divisé en quatre chapitres :

Chapitre Ier. — Définition de la greffe animale. Ses différences principales avec la greffe végétale. Son importance en physiologie générale.

Applications les plus importantes de la greffe animale à la physiologie et à la chirurgie.

Chap. II. — Expériences :

1° *Greffes par approche, ou siamoises.* — Une incision longitudinale est pratiquée à la peau du thorax et de l'abdomen de deux animaux (rat blanc, *Mus decumanus*, var. albine), à droite chez l'un, à gauche chez l'autre; les lèvres de la plaie sont relevées, disséquées et réunies d'un animal à l'autre par des points de suture. On

obtient ainsi cicatrisation cutanée par première intention; au bout de quelques jours, des vaisseaux nombreux établissent solidarité entre la circulation sanguine des deux animaux, si bien qu'un poison administré à l'un d'eux agit bientôt sur l'autre.

Le même résultat est obtenu en agissant sur deux animaux d'espèces différentes, mais appartenant au même genre : *Mus decumanus*, var. albine, et *Mus striatus*.

On peut même obtenir la greffe de rat avec chat, mais alors, réunion par bourgeons charnus; on fait dilater les pupilles du rat par une injection de belladone dans le rectum du chat.

Greffe de deux rats avec cavité abdominale ouverte : formation d'une nouvelle membrane péritonéale, etc.

2° *Greffes par transplantation.* — Expériences du même ordre que celles dont il sera question dans le travail suivant. Introduction sous la peau ou dans le péritoine d'un animal de pattes, de queues, de mâchoires, etc., d'un autre animal de même espèce. Tentatives infructueuses pour greffer des œufs de mammifère fécondés.

Chap. III. — Résumé de tous les faits de greffe connus jusqu'à ce jour.

Chap. IV. — Des conditions de réussite et des suites de la greffe : nutrition, innervation, etc., des parties greffées.

II. — *Recherches expérimentales pour servir à l'histoire de la vitalité propre des tissus animaux.*

(Thèse pour le doctorat ès sciences naturelles. Paris, 1866, in-4, 96 p., 2 pl., *Ann. des Sciences naturelles*, Zoologie, 5e série, t. V.)

La physiologie générale est assez riche en expériences montrant l'influence des conditions de milieu sur la manifestation et l'existence de certaines propriétés des éléments anatomiques; ce sont les propriétés d'où résulte le mouvement (contractilité, neurilité), et celles d'où résulte la formation d'un être nouveau (aptitude à féconder, à être fécondé, à se développer). On sait, par exemple, qu'un muscle de mammifère perd sa contractilité à + 45°, que les cils vibratiles s'arrêtent temporairement par l'action de substances fortement endosmotiques et exosmotiques, et définitivement par celle de substances acides, etc. Mais pour les propriétés de nutrition, on ne savait presque rien; c'est que l'existence de ces propriétés se manifeste par des phénomènes dont l'observation doit durer longtemps, et les parties qu'il a fallu séparer du corps pour les soumettre aux agents modificateurs ne tardent guère à périr. Il fallait trouver une méthode expérimentale qui, replaçant ces parties dans des conditions de milieu semblables à celles qu'elles

avaient perdues, leur permît de manifester leurs propriétés de nutrition, si ces propriétés existaient encore en elles. La greffe animale a fourni cette méthode.

La thése en question contient une introduction et quatre chapitres.

Chapitre Ier. — De la méthode des transplantations animales. Développement des idées qui viennent d'être énoncées. — Application de la méthode à diverses questions de physiologie générale : transfusion du sang, régénération des nerfs, ostéogénie, développement des cancers, etc.

Chap. II. — Résistance vitale des éléments anatomiques; énumération des faits connus.

Chap. III. — Expériences personnelles. Elles sont au nombre de 103.

L'animal mis en expérience a été le rat; la partie greffée, une patte ou l'extrémité de la queue, préalablement écorchées; le lieu de la greffe, le tissu cellulaire sous-cutané du dos.

La persistance des propriétés de nutrition a été reconnue par l'un des trois critériums suivants : accroissement de la partie greffée; injection poussée par les vaisseaux de l'animal sujet et pénétrant dans ceux de la partie greffée; altérations pathologiques des éléments et des tissus de celle-ci.

Ce dernier critérium a été surtout employé; il a permis de reconnaître et de décrire des faits intéressants au point de vue pathologique sur la transformation fibreuse de la moelle des os, sur les altérations des os, des cartilages, des muscles, etc.

§ 1. *Transplantation immédiate*. — Études des modification smorphologiques et histologiques qui s'opèrent dans la greffe, soit qu'il y ait eu, soit qu'il n'y ait pas eu d'inflammation locale.

§ 2. *Action prolongée de l'air confiné, influence de la température*. — On a vu des parties séparées du corps continuer à vivre après sept heures et demie à la température de 30°; aprés dix-sept heures, à celle de 20; après sept jours, à celle de 10° à 12°.

§ 3. *Action prolongée de certains milieux gazeux ou liquides*. — Je ne rappelle ici que les expériences faites avec les substances les plus intéressantes. L'oxygéne se comporte commo l'air; l'acide carbonique semble présenter une très-faible action toxique; l'immersion dans l'eau devient mortelle au bout de quelques heures; les solutions acides sont très-redoutables : par exemple, à 1 pour 100 les acides acétique ou phosphorique tuent, l'acide sulfurique rend malade, mais l'acide phénique ne fait rien ; à 1 pour 1000, l'acido chromique rend malade, l'acide sulfurique ne fait rien; l'eau saturée d'acide carbonique agit à peu prés comme l'eau pure. Les solutions alcalines sont bien moins dangereuses; 2 pour 100 de potasse, 6 pour 100 de carbonates ou de chlorures alcalins ne tuent pas; 5 pour 100 d'urée, 10 pour 100

d'alcool, un tiers de glycérine, sont à peu près inoffensifs, mais 1 pour 100 de brome tue.

§ 4. *Action de températures élevées, humides; action de froids intenses.* — La température de + 57°, la température de — 18° sont insuffisantes pour détruire les propriétés de nutrition.

§ 5. *Dessiccation dans le vide, en présence de l'acide sulfurique, avec ou sans l'action consécutive d'une chaleur voisine de* 100 *degrés.* — Dix expériences; conclusions : « Nous avons retrouvé les altérations pathologiques des parties greffées et leur communication vasculaire avec l'animal-sujet; il paraît donc difficile de nier la puissance de la vitalité dans les éléments du tissu conjonctif et de la moelle des os..... La contre-épreuve, faite avec des parties semblables desséchées, mais évidemment mortes, est favorable à l'opinion de la vitalité conservée; cependant, en présence d'un fait qui paraîtra extraordinaire, nous n'osons nous avancer jusqu'à une affirmation complète (p. 79-80). »

§ 6. *Transplantation entre animaux appartenant à des espèces différentes.* — De rat à surmulot, réussite presque constante. De mulot à surmulot, réussite avec maladie. De surmulot à écureuil, suppuration et élimination. Même résultat en augmentant l'intervalle zoologique. Concordance avec les transfusions sanguines.

Chap. V. — Résumé et conséquences des expériences précédentes.

La méthode des transplantations animales pourra servir dans un très-grand nombre de cas (1) à décider si telle influence est capable de tuer les éléments anatomiques dont la vie ne se révèle que par des phénomènes de nutrition.

Au point de vue de la physiologie générale, mes expériences m'ont amené à des conclusions que je demande la permission de reproduire en les abrégeant.

A. — La séparation du corps d'un membre, comme une patte ou une queue, chez un animal à sang chaud, comme un rat, ne met en péril immédiat la vie d'aucun des éléments anatomiques qui constituent cet organe; si on leur rend par la transplantation sous-cutanée ou intra-péritonéale des conditions nutritives convenables, ils continuent à vivre et à manifester leur existence par des phénomènes tout à fait comparables à ceux qu'ils eussent présentés si, après quelque lésion chirurgicale, ils fussent restés en place. Il en résulte que les propriétés diverses suivent des fortunes différentes : les unes (contractilité) disparaissent pour ne plus revenir; les autres (neurilité) disparaissent momentanément, pour reparaître après une évolution anatomique déterminée; les autres demeurent en pleine activité (p. 84).

B. — C'est une question vieille comme la médecine que de savoir s'il existe dans les êtres vivants un principe directeur et coordinateur tenant sous sa dépendance la vie de toutes les parties du corps; ou si, au contraire, celles-ci vivent chacune pour son propre compte, en

(1) On verra par la suite qu'elle m'a servi dans diverses circonstances (action mortelle de l'oxygène comprimé sur les éléments anatomiques, etc.)

vertu d'une autonomie dont les manifestations synergiques chez toutes constituent l'apparente unité de la vie (p. 89).

Si nous ne nous faisons illusion, nos expériences sur les transplantations de queues de rat détachées du corps depuis plusieurs jours ou soumises à l'action de modificateurs souvent très-énergiques, sont la meilleure preuve expérimentale directe que l'on puisse invoquer en faveur de l'autonomie des éléments. Il faut bien que le principe vital existe dans chacune de ces parties, si principe vital il y a (p. 90).

C. — Le fragment de rat greffé continue à vivre, se développe et acquiert la forme et les dimensions qu'il aurait acquises s'il fût resté en place. Ses cartilages d'ossification s'ossifient; ses épiphyses osseuses se soudent aux diaphyses; ses cartilages intervertébraux, quand il s'agit d'une queue, deviennent fibreux, d'hyalins qu'ils étaient; la moelle celluleuse de ses os se charge de graisse, etc. En un mot, son évolution s'opère suivant ses lois normales, soit dans l'ordre physiologique, soit dans l'ordre pathologique (p. 92).

Donc, s'il fallait rapporter à un principe, à une essence, l'évolution morphologique d'un être entier, convenons que ce principe n'est pas un mais multiple, qu'il existe dans chaque élément figuré et que, en ce sens, Kant a eu tort de dire que la raison de l'être vivant réside dans son ensemble : elle réside, comme celle du corps brut, dans chacune de ses parties (p. 93).

B. — Influence de divers agents physiques.

III. — *Sur la prétendue influence de l'électrisation par des courants continus sur la nutrition des animaux.*

(Soc. de biologie, 1869.)

Divers auteurs avaient autrefois attribué à l'électricité voltaïque une grande influence sur la nutrition des animaux (accroissement, engraissement). Récemment, des physiologistes français ont avancé que cette influence se manifeste d'une manière très-rapide à la suite d'applications de courants continus pendant quelques minutes par jour.

Mes expériences ont montré que le développement de jeunes animaux (cochons d'Inde et lapins) n'est nullement modifié par l'application quotidienne de courants continus ou de courants induits.

Des expériences postérieures m'ont prouvé qu'il en est de même pour l'évolution des chrysalides, le développement des œufs de grenouille, etc.

IV. — *Influence des divers rayons lumineux sur l'étiolement des animaux.*

(*Soc. de biologie*, 1869.)

Des têtards d'Axolotl, élevés dans des vases recouverts d'un verre orangé, et d'autres élevés dans l'obscurité complète, étaient identiques; c'est-à-dire presque dépourvus de pigment cutané.

Des animaux du même âge, placés dans des vases recouverts d'un verre blanc, avaient une teinte beaucoup plus foncée, due au riche développement de leurs cellules pigmentaires, teinte que les premiers finirent par acquérir par leur exposition consécutive à la lumière complète du soleil. Or, le verre orangé employé ne laissait passer que la moitié la moins réfrangible du spectre : vert, jaune, orangé, rouge. La formation du pigment est donc sous l'influence de la région bleue et violette du spectre.

IV *bis*. — *Action directe de la lumière (rayons bleu violet) sur la contractilité musculaire.*

Je veux parler des chromatophores mobiles du Caméléon (voir plus bas, n° LV).

IV *ter*. — *Influence de la lumière sur les êtres vivants.*

(*Revue scientifique*, 1878.)

J'ai résumé dans cette leçon les faits que j'ai observés, et groupé méthodiquement autour d'eux la plupart de ceux qu'on connaît.

V. — *Sur la mort des animaux inférieurs par la chaleur.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1867; *Soc. de biologie*, 1872, 1876.)

Animaux à sang froid (anguilles, grenouilles, limaces, sangsues) tués en les maintenant quelques minutes dans un petit flacon introduit dans le rectum d'un chien : le milieu nécessaire à l'élément anatomique à sang chaud tue l'élément à sang froid.

Les actes intellectuels disparaissent d'abord, puis les actions réflexes, puis les contractions musculaires et les mouvements du cœur : les nerfs sensibles conservent les derniers leurs propriétés.

Les températures auxquelles périssent les animaux peuvent beaucoup varier suivant la lenteur ou la rapidité de la transition.

On peut tuer des poissons habitués à l'eau chaude (27°) en les transportant immédiatement dans l'eau froide (12°).

VI. — *Sur les phénomènes et les causes de la mort des animaux d'eau douce que l'on plonge dans l'eau de mer.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1868; *Soc. de biologie*, 1871; *Acad. des sciences*, 1871.)

J'étudie successivement :

1° La durée de la survie de différentes espèces; ses rapports dans la même espèce avec la taille et la température;

2° Les phénomènes qui précèdent et accompagnent la mort;

3° La question de l'accoutumance (un saumon meurt en quelques heures dans l'eau de mer);

4° Les substances de l'eau de mer auxquelles sont dus ces effets (c'est le sel marin, exclusivement);

5° Le mécanisme do la mort. Elle est due aux phénomènes d'exosmose qui peuvent agir tantôt sur le corps tout entier (animaux nus et sans mucus), tantôt seulement sur l'épithélium des branchies (poissons).

Dans le premier cas, la mort arrive par dessiccation (il suffit de plonger une patte de grenouille dans l'eau de mer pour faire perdre à l'animal 1/4 à 1/3 de son poids); dans le second, par arrêt, avec apoplexies locales, de la circulation branchiale. Une anguille intacte vit indéfiniment dans l'eau de mer ; essuyée et dépouillée de mucus, elle meurt en quelques heures.

Il n'y a pas, comme croyait l'avoir établi un physiologiste distingué, d'empoisonnement par les sels de l'eau de mer.

VI *bis*. — *Sur la mort dans l'eau douce des animaux marins.*

(*Soc. de biologie*, 1877.)

C'est la réciproque des faits précédents.

Les branchies se boursouflent, se tuméfient ; il y a arrêt de la circulation branchiale et sortie de l'hémoglobine.

C. — Pression barométrique.

VII.

Mes recherches sur l'influence que les modifications dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie, recherches auxquelles l'Institut a fait, sur la présentation de l'Académie des sciences, l'insigne honneur de décerner, en 1875, le grand prix biennal, ont été publiées successivement dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, de 1871 à 1875. Réunies dans un mémoire d'ensemble (*Annales des sciences naturelles*, 1875), elles ont été exposées avec tous leurs développements historiques et expérimentaux dans un livre intitulé : *La pression barométrique, recherches de physiologie expérimentale* (in-8°, VIII, 1168 pages; Paris, 1878). L'analyse des différents chapitres de ce volume, qui contient le récit de plus de 670 expériences, peut servir d'exposé à cette partie de mes travaux.

Le livre se divise en trois parties : historique, expériences, conclusions.

Première partie. — HISTORIQUE ; p. 1-522.

« J'ai apporté à la rédaction de l'historique les soins les plus minutieux; je me suis efforcé de réunir tout ce qui a été écrit sur le sujet de mes études. Il m'a semblé qu'il y aurait grand intérêt pour le lecteur à avoir ainsi sous les yeux toutes les pièces du procès, avec l'infinie variété des récits, leurs contradictions fréquentes, et souvent aussi leurs répétitions instructives. J'ai cru devoir prendre le parti de rapporter textuellement les paroles des auteurs cités : je me suis défié des analyses même les plus consciencieuses; il m'est arrivé de voir plusieurs fois, dans mes recherches bibliographiques, les affirmations d'un auteur transformées en négations par une série de traductions et d'analyses. Du reste, des chapitres de résumé et de critique reposent l'esprit du lecteur; mais du moins chacun des faits qui y sont affirmés trouve sa preuve dans les extraits qui précèdent. » (Préface, p. VI.)

Titre Ier. — **DIMINUTION DE PRESSION.**

Chapitre préliminaire. — **Les régions élevées du globe** : Revue géographique.

Chapitre Ier. — **Les voyages en montagnes** : Récits de voyageurs où il est question des accidents de la décompression, du *mal des montagnes* : Amérique méridionale, centrale et septentrionale, Etna, Pic de Ténériffe, Alpes, Pyrénées, Caucase, Arménie, Perse, Asie centrale, Afrique, Volcans du Pacifique.

Chapitre II. — **Ascensions en ballon** : Récits de toutes les ascensions à grande hauteur.

CHAPITRE III. — **Explications théoriques et expériences** : Long et, à mon sens, fort curieux exposé d'abord de toutes les théories qu'ont mises en avant les physiciens, les physiologistes, les voyageurs, les habitants des hauts lieux, pour expliquer les accidents dus à la raréfaction de l'air, et en second lieu, des expériences tentées pour résoudre cette importante question.

CHAPITRE IV. — **Résumé et critiques.** — Ceci est œuvre plus personnelle et peut suffire au lecteur de la partie historique. Ma conclusion, relativement aux explications théoriques, est que :

« Beaucoup d'entre elles n'ont pu supporter l'examen critique auquel je les ai soumises; que d'autres, dont l'exactitude est peu vraisemblable, attendent pour être jugées définitivement le contrôle expérimental; que d'autres, enfin, et celle-là même qui nous semble la plus solidement établie, celle de l'*anoxyhémie* de M. Jourdanet, ne pourront entraîner la conviction qu'après l'intervention du juge souverain : l'expérience. »

TITRE II. — AUGMENTATION DE PRESSION.

CHAPITRE Ier. **Fortes pressions.** — Exposé des sensations et des accidents éprouvés : 1° dans les cloches à plongeur; 2° dans les appareils construits d'après la méthode Triger pour le forage des puits, le fondage des piles de ponts, etc.; 3° dans les scaphandres.

CHAPITRE II. **Faibles pressions.** — Il s'agit ici des appareils employés par les médecins dans un but thérapeutique, et où la pression ne dépasse pas en tout deux atmosphères.

CHAPITRE III. **Explications théoriques et expériences.** — Exposé analytique très-complet.

CHAPITRE IV. **Résumé et critiques.** — J'y montre la confusion qui s'était établie entre les accidents qu'on pourrait attribuer au séjour dans l'air comprimé, et ceux qui proviennent de la décompression brusque.

J'y prouve que lors même que les physiciens ou les médecins ont rencontré une part de la vérité, ils n'ont rien démontré expérimentalement.

SECONDE PARTIE. — EXPÉRIENCES; pages 523-1040.

« J'ai, dans la rédaction des expériences, qui sont au nombre de six cent soixante-dix environ, employé la méthode énumérative; toutes celles qui m'ont paru présenter de l'intérêt ont été exposées tout au long. Cette méthode a pour avantages d'abord de fournir la preuve de toutes les affirmations, ensuite de permettre parfois au lecteur de trouver dans le récit des expériences ce que l'auteur n'y a pas vu lui-même. Des résumés annexés à chaque chapitre facilitent d'ailleurs la connaissance rapide des résultats obtenus. » (Préface, p. VII.)

Chapitre Ier. — **Des conditions chimiques de la mort, en vases clos, des animaux soumis à diverses pressions barométriques.**

Voici les conclusions auxquelles m'ont conduit les analyses d'air confiné dans lequel j'ai laissé périr, sous des pressions, tantôt inférieures, tantôt supérieures à celle d'une atmosphère, des animaux appartenant à divers types du règne animal : l'air employé variant dans la proportion de ses divers éléments et dans sa température.

A. — Dans l'air ordinaire :

a. — Aux pressions inférieures à celle d'une atmosphère, la mort des animaux survient lorsque la tension de l'oxygène de l'air (la tension d'un gaz représentée par le produit de sa proportion centésimale que multiplie la pression barométrique) est réduite à une certaine valeur constante (qui pour les moineaux équivaut en moyenne à $O \times P = 3,6$) ;

b. — Pour les pressions comprises entre 2 et 9 atmosphères environ, la mort arrive lorsque la tension de l'acide carbonique s'élève à une certaine valeur constante (qui pour les moineaux équivaut en moyenne à $CO^2 \times P = 26$) ;

c. — Pour les pressions très-élevées, la mort est due exclusivement à la tension trop considérable de l'oxygène ambiant. Elle arrive rapidement quand la tension de ce gaz atteint 300 ou 400 ;

d. — Pour les pressions de 1 à 2 atmosphères, la mort semble être due surtout à l'abaissement de la tension d'oxygène, mais en partie également à l'augmentation de la tension de CO^2;

e. — A partir de 3 ou 4 atmosphères, l'intervention funeste de l'oxygène commence à se faire sentir et devient très-manifeste vers 9 ou 10 atmosphères.

B. — Les expériences faites soit avec des mélanges gazeux plus ou moins riches en oxygène, soit en présence d'alcalis capables d'absorber l'acide carbonique à mesure qu'il se forme, nous amènent à donner à ces formules un caractère de généralité bien plus grand encore, et nous pouvons les exprimer de la manière suivante (en les appliquant, pour plus de clarté, aux moineaux).

La mort arrive :

a. — Quand la tension de l'oxygène s'abaisse au-dessous de 3,6, que la pression barométrique soit supérieure ou inférieure à la pression normale : il faut, bien entendu, dans le premier cas, se débarrasser de l'acide carbonique par un alcali ;

b. — Quand la tension de l'acide carbonique s'élève au-dessus de 26, que la pression soit supérieure ou inférieure à la pression normale : il faut, bien entendu, dans ce dernier cas, employer des mélanges suroxygénés ;

c. — Quand la tension de l'oxygène arrive aux environs de 300, quelles que soient

la composition centésimale et la pression (celle-ci ne pouvant être évidemment inférieure à 3 atmosphères, avec l'oxygène pur);

d. — Ces genres de mort peuvent se combiner deux à deux, *a* avec *b* et *b* avec *c*, suivant les pressions et les compositions gazeuses employées.

La mort *a* est une véritable *asphyxie* par privation d'oxygène ; la mort *b* est un *empoisonnement par l'acide carbonique ;* la mort *c* est un *empoisonnement par l'oxygène.*

C. — On voit, et c'est là le résultat le plus général auquel nous arrivions, que dans tous les cas, la pression barométrique, dans ses variations, n'est jamais directement, par elle-même, la cause des phénomènes. Elle n'est qu'une des conditions qui font varier la tension des gaz, et l'autre facteur, la composition centésimale, peut parfaitement, s'il marche en sens inverse, en contre-balancer les effets, de même qu'il les augmentera rapidement, s'il marche dans le même sens.

D. — Si maintenant nous laissons de côté l'acide carbonique produit, pour nous placer dans des conditions plus voisines de celles où se présente, dans la nature ou l'industrie, le problème qui nous occupe, nous en arrivons à conclure :

1° Que trois animaux, dont l'un épuise par sa respiration un espace clos plein d'air ; dont le second est contraint de respirer dans un courant d'air de moins en moins riche en oxygène ; dont le troisième est soumis à une diminution graduelle de pression, — sont tous les trois, par ces procédés si divers, menacés des mêmes accidents et de la même mort, de la mort par privation d'oxygène, par véritable asphyxie ;

2° Que deux animaux, dont l'un respire dans un courant d'air de plus en plus riche en oxygène et dont l'autre est soumis à une pression barométrique croissant de 1 à 5 atmosphères, sont dans des conditions identiques. Que, au delà, l'animal qui respire de l'oxygène pur à 2, 3, 4 atmosphères, etc., est dans les mêmes conditions que celui qui respire de l'air pur à 10, 15, 20 atmosphères : tous deux sont, par ces procédés divers, menacés des mêmes accidents et de la même mort, de la mort par excès d'oxygène, d'un empoisonnement d'une espèce jusqu'ici inconnue.

Pas assez d'oxygène en tension, ou trop d'oxygène, toute l'influence que les modifications barométriques exercent sur les animaux, se résume en ces termes.

Chap. II. — Des gaz contenus dans le sang aux diverses pressions barométriques.

S.-chap. I. — Méthodes opératoires et critique expérimentale (voy. n°s XLVII et LXVIII).

S.-chap. II. — Des gaz du sang sous des pressions inférieures à celle d'une atmosphère.

Expériences faites sur des chiens maintenus dans l'air raréfié et renouvelé, sous des pressions qui ont été abaissées jusqu'à 7 centimètres de mercure.

Conclusion :

Quand la pression diminue, la quantité des gaz (oxygène, acide carbonique, azote) contenus dans le sang diminue également, mais en proportion un peu moindre que celle qu'indiquerait la loi de Dalton ; le sang perd ainsi relativement plus d'oxygène que d'acide carbonique.

S.-chap. III. — Des gaz du sang sous des pressions supérieures à celle d'une atmosphère.

Il s'agit encore de chiens; les pressions employées se sont élevées jusqu'à 10 atmosphères.

Conclusion :

Chez l'animal vivant, lorsque la pression barométrique augmente, l'oxygène augmente dans le sang artériel, mais avec une extrême lenteur ; l'azote augmente plus vite, mais pas autant, à beaucoup près, que le voudrait la loi de Dalton ; quant à l'acide carbonique, il diminue presque toujours.

S.-chap. IV. — Des gaz du sang dans l'asphyxie comparée à la diminution de pression.

Chiens respirant en vases clos, l'acide carbonique étant absorbé au fur et à mesure de sa formation.

La diminution de l'oxygène et de l'acide carbonique dans le sang se fait exactement comme dans la diminution de pression.

S.-chap. V. — De la quantité d'oxygène que peut absorber, aux diverses pressions barométriques, le sang tiré des vaisseaux.

Les conclusions du travail classique de M. Fernet, exactes dans les conditions où avait opéré ce physicien, ne le sont plus quand on agite le sang avec de l'air très-raréfié ou très-comprimé, surtout à la température du corps.

L'hémoglobine se sature d'oxygène aux environs de 5 atmosphères. Au-dessous, l'oxybémoglobine se dissocie de plus en plus vite quand on approche du vide ; au-dessus, l'oxygène se dissout dans le sang suivant la loi de Dalton.

Chap. III. — Phenomènes présentés par les animaux soumis à des pressions inférieures à celles de l'atmosphère.

Je passe en revue les grandes fonctions physiologiques: respiration, circulation, digestion, locomotion, innervation, nutrition (diminution dans la quantité d'acide carbonique et d'urée excrétés, abaissement de la température), limite inférieure de pression et phénomènes de la mort (rigidité cadavérique très-rapide).

Je compare ensuite ces phénomènes avec ceux de l'asphyxie, en vases clos, sans acide carbonique, et je montre la concordance parfaite, sous égale tension d'oxygène.

De ces considérations se tire une méthode très-simple pour conjurer les accidents

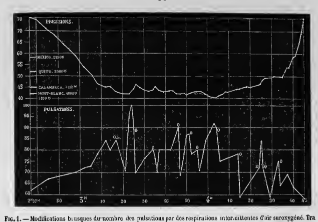


Fig. 1. — Modifications brusques du nombre des pulsations par des respirations intermittentes d'air suroxygéné. Tracé supérieur, marche de la dépression; tracé inférieur, nombre des pulsations; O, inspirations d'oxygène.

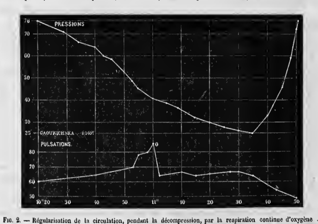


Fig. 2. — Régularisation de la circulation, pendant la décompression, par la respiration continue d'oxygène : tracé supérieur, marche de la dépression; tracé inférieur, nombre des pulsations; de O à X, respiration continue d'oxygène.

de la décompression. Elle consiste à respirer un air suffisamment oxygéné pour que la tension du gaz reste, malgré la dépression, à la valeur normale qu'elle a dans l'air ordinaire. J'ai expérimenté sur moi-même cette méthode, et je présente ici deux tracés caractéristiques.

Dans l'un (fig. 1), les respirations d'oxygène ont été intermittentes, et ont motivé des variations brusques et non sans inconvénients dans le nombre des battements du cœur.

Dans l'autre (fig. 2), la respiration d'oxygène a été continue, et la circulation, ainsi que les autres fonctions sont devenues absolument régulières pendant toute l'expérience; je me suis cependant abaissé à 24 centimètres de pression, ce qui correspondait à une hauteur de plus de 8800 mètres. (Crocé Spinelli et Sivel sont morts à 26 centimètres).

Chap. IV. — **Action de l'air comprimé sur les animaux.**

S.-chap. I. — Action toxique de l'oxygène à forte tension.

Cette action révélée par les expériences du chapitre I, et dont la découverte constitue la partie la plus intéressante de mes recherches, est ici analysée comme s'il s'agissait de celle d'un poison ordinaire. Elle est terrible et donne lieu à des convulsions violentes.

Voici les conclusions de cette étude :

1° L'oxygène se comporte comme un poison rapidement mortel, lorsque sa quantité dans le sang artériel s'élève à environ 35 centimètres cubes par 100 centimètres cubes de liquide; c'est ce qui arrive lorsque la pression, dans l'air ordinaire, s'élève à 20 ou 25 atmosphères, c'est-à-dire lorsque la tension de l'oxygène $O \times P$ atteint 400 ou 450 ;

2° L'empoisonnement est caractérisé par des convulsions qui représentent, suivant l'intensité des accidents, les divers types du tétanos, de la strychnine, de l'acide phénique, de l'épilepsie, etc. ;

3° Ces accidents, que calme le chloroforme, sont dus à une exagération du pouvoir excito-moteur de la moelle épinière;

4° La consommation d'oxygène, la production d'acide carbonique et d'urée, la destruction de la glycose dans le sang, sont considérablement diminuées; la température s'abaisse. Ainsi, la suroxygénation du sang et des tissus arrête les oxydations;

5° Les actes chimiques de la nutrition sont non-seulement ralentis, mais modifiés; car leur simple diminution ne pourrait expliquer la violence et surtout la persistance des accidents;

6° Les accidents et la mort surviennent de même chez les animaux invertébrés, chez les animaux aquatiques; ils ont donc une cause générale et ne dépendent pas d'un mécanisme particulier.

S.-Chap. II. — Action de l'air comprimé à de faibles pressions.

Il s'agit ici de pressions ne dépassant pas 5 atmosphères.

Une première série d'expériences, faites sur moi-même, m'ont montré qu'à 2 atmosphères la ventilation pulmonaire ne change pas, tandis que la capacité pulmonaire maximum augmente considérablement ; que la quantité d'acide carbonique et d'urée excrétés est plus forte qu'à la pression normale.

Ces résultats ont été corroborés par des expériences faites sur les animaux. J'ai vu en outre : 1° que le maximum de production de l'acide carbonique est au voisinage de 3 atmosphères ; 2° que l'augmentation dans la capacité pulmonaire maximum correspond exactement à la diminution du volume des gaz intestinaux ; 3° que les variations de la pression aérienne intra-thoracique, dues à la respiration, sont moindres dans l'air comprimé ; 4° que la pression du sang y augmente, ainsi que l'oscillation produite par l'influence respiratoire, effets dus non à l'action de l'oxygène absorbé en plus grande quantité, mais à la pression, en tant qu'agent d'ordre mécanique.

Enfin le séjour prolongé d'animaux inférieurs, et particulièrement d'œufs et de larves, dans de l'air comprimé ou suroxygéné, à la pression normale, m'a démontré que l'augmentation de la tension de l'oxygène au-dessus de sa valeur normale n'a jamais présenté d'avantage, et que lorsqu'elle a quadruplé elle a amené un résultat funeste.

Chap. V. — **Influence des modifications de la pression barométrique sur les végétaux.**

S.-Chap. I. — Pressions inférieures à celle d'une atmosphère.

La germination et la végétation se font d'autant plus lentement que la pression est plus basse ; cette action est due à la faible tension de l'oxygène.

La limite inférieure de la germination est aux environs de 7 centimètres de pression, ou de la tension de 2,5 d'oxygène. C'est sensiblement le même degré où meurent les animaux à sang froid.

S.-Chap. II. — Pressions supérieures à celle d'une atmosphère.

Dès 2 atmosphères, la germination est ralentie ; à 5 atmosphères ou dans l'oxygène pur, ce retard est extrêmement considérable ; à 7 atmosphères, les graines ne font que jeter quelques radicules ; à 10 atmosphères, elles meurent et ne peuvent plus germer quand on les ramène à la pression normale.

La végétation donne les mêmes résultats.

Chap. VI. — **Action des modifications de la pression barométrique sur les ferments, les venins, les virus et les éléments anatomiques.**

S.-Chap. I. — Fermentations par organismes.

La putréfaction, la coagulation du lait, l'altération de l'urine, la fermentation

3

alcoolique et acétique régulière, le développement de la fleur du vin et des moisissures, etc., sont arrêtés complétement par l'oxygène suffisamment comprimé. Les ferments sont tués, et le retour à la pression normale laisse intactes les substances fermentescibles employées, si l'on empêche l'accès des poussières de l'air.

Quand la putréfaction est tout à fait empêchée, la consommation d'oxygène et la formation d'acide carbonique sont réduites à des quantités inappréciables. L'importance de ces phénomènes chimiques est en rapport avec l'intensité de la putréfaction. Une étude détaillée montre que celle-ci est à son maximum aux environs de 3 atmosphères, comme la respiration des animaux.

Il se fait dans les matières ainsi protégées contre les ferments des altérations lentes curieuses à étudier. Dans les fruits, il se forme de l'alcool et de l'acide acétique; ce dernier acide, et aussi les acides formique et lactique, apparaissent dans le pain mouillé; les acides sarcolactique et butyrique, ainsi que la triméthylamine, dans les matières animales.

S.-Chap. II. — Fermentation diastatique.

La diastase salivaire, la pepsine, la pancréatine, le ferment inversif de la levûre, la myrosine, l'émulsine, conservent leurs propriétés après un long séjour dans l'oxygène comprimé.

S.-Chap. III. — Propriétés des éléments anatomiques.

La moelle épinière, les nerfs, les muscles, le cœur, perdent rapidement leurs propriétés caractéristiques dans l'oxygène comprimé. Les éléments constitutifs d'une queue de rat et les globules sanguins y sont tués, comme le démontrent les méthodes de la greffe animale et de la transfusion du sang.

S.-Chap. IV. — De l'emploi de l'oxygène à haute tension comme méthode expérimentale.

Il permet de savoir aisément si un phénomène donné appartient à la classe des fermentations par organismes, auquel cas l'oxygène en tension l'empêchera de se produire, ou s'il est dû à une fermentation diastasique ou à une simple oxydation. Application à l'étude des venins, des virus, du blettissement et de la maturation des fruits.

S.-Chap. V. — Résumé.

Chap. VII. — Des effets des changements brusques dans la pression barométrique.

S.-Chap. I. — Influence des augmentations brusques de pression.

Aucun effet sérieux.

S.-Chap. II. — Influence de la diminution brusque de pression à partir d'une atmosphère.

Autopsie d'animaux tués par vide soudain : pas de gaz dans le sang. Détails sur les poissons à veine natatoire ouverte.

S.-Chap. III. — Influence de la diminution brusque de pression à partir de plusieurs atmosphères.

Grand nombre d'expériences faites sur des mammifères, des oiseaux, des vertébrés aquatiques, et dans lesquelles la compression a été poussée jusqu'à 10 atmosphères : décompression tantôt d'un coup, tantôt en plusieurs temps.

Les conclusions sont les suivantes :

La décompression non ménagée, à partir de plusieurs atmosphères, amène des accidents d'une gravité variable suivant le degré de la compression, la rapidité de la décompression, les espèces animales, les individus, l'état actuel de l'individu en expérience.

Ces accidents doivent être attribués au dégagement de l'azote qui s'était en excès emmagasiné dans l'organisme suivant les exigences de la loi de Dalton.

Ce gaz repasse à l'état libre dans les vaisseaux sanguins, les divers liquides organiques, l'épaisseur même des tissus; il peut ainsi, suivant les cas, arrêter la circulation pulmonaire, anémier et amener au ramollissement certaines régions des centres nerveux et particulièrement le renflement lombaire de la moelle épinière, dilacérer les tissus, produire des tumeurs ou un emphysème plus ou moins étendu. La gravité des accidents dépend tout à la fois du siége et de l'étendue de ces désordres multiples.

Une décompression ménagée de 12 minutes par atmosphère est nécessaire pour mettre les chiens à l'abri des accidents, lorsque la compression s'est élevée aux environs de 10 atmosphères.

Une recompression immédiate ou consécutive à la respiration d'oxygène, dans le cas où l'on constate des gargouillements au cœur, est le seul moyen de combattre efficacement les accidents de la décompression.

Chap. VIII. — Questions diverses.

Acide carbonique, asphyxie, gaz du sang.

Troisième partie. — FAITS RÉCENTS, RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS (p. 1041-1153).

Chap. Ier. — Diminution de pression.

S.-Chap. I. — Observations, théories et critiques récentes.

C'est l'historique des faits observés et des théories mises en avant depuis le moment où j'ai commencé mes travaux. J'y réponds aux critiques dont mes idées avaient déjà été l'objet.

S.-Chap. II. — Résumé et applications pratiques.

Étude approfondie, basée sur le résultat de tous les faits compris dans le livre, des conditions dans lesquelles se trouvent les aéronautes, les voyageurs en montagne, les habitants des hauts lieux. Moyens pratiques de conjurer les accidents.

CHAP. II. — **Augmentation de pression.**

S.-Chap. I. — Observations et critiques récentes.

Résumé de l'historique récent.

S.-Chap. II. — Résumé et applications pratiques.

Étude approfondie et condensée des effets : 1° des fortes pressions; 2° des faibles (1 à 5 atm.) pressions; 3° des décompressions brusques. Applications à l'hygiène et à la thérapeutique.

CHAP. III. — **Conclusions générales.**

A. — La diminution de la pression barométrique n'agit sur les êtres vivants qu'en diminuant la tension de l'oxygène dans l'air qu'ils respirent, dans le sang qui anime leurs tissus (*anoxyhémie* de M. Jourdanet), et en les exposant ainsi à des menaces d'asphyxie.

B. — L'augmentation de la pression barométrique n'agit qu'en augmentant la tension de l'oxygène dans l'air et dans le sang.

Jusqu'à 3 atmosphères environ, cette augmentation de tension a pour conséquence des oxydations intra-organiques un peu plus actives.

Au delà de 5 atmosphères, les oxydations diminuent d'intensité, changent probablement de nature, et s'arrêtent quand la pression s'élève suffisamment.

Il en résulte que tous les êtres vivants, aériens ou aquatiques, animaux ou végétaux, complexes ou mono-cellulaires; que tous les éléments anatomiques, isolés (globules du sang, etc.) ou groupés en tissus, périssent plus ou moins rapidement dans l'air suffisamment comprimé. Cette formule ne paraît souffrir d'exception que pour les corpuscules reproducteurs de quelques êtres microscopiques (1). Pour les animaux dits supérieurs, la mort est précédée de convulsions toniques et cloniques d'une violence extrême.

Chez les vertébrés, les accidents dus à la trop grande tension de l'oxygène ne commencent à se manifester qu'au moment où l'hémoglobine étant saturée d'oxygène, ce gaz entre à l'état de simple dissolution au contact des tissus. On peut donc dire que les éléments anatomiques sont *anaérobies* (2).

(1) J'ai même vu depuis qu'ils finissent par périr dans l'oxygène comprimé (voy. n° XLIV).

(2) Cette proposition a été développée, avec de nouvelles preuves à l'appui, dans une note intitulée : *De l'action de l'oxygène sur les éléments anatomiques* (*Acad. des sc.*, 1878) et dont voici les conclusions : Tous les organites vivants sont donc frappés à mort par l'oxygène simplement dissous ; tous sont donc, en réalité anaérobies. Seulement, les uns, comme les éléments anatomiques, comme les vibrions butyriques, la levûre de bière en activité, etc., réduisent une matière chimique qui leur est extérieure (hémoglobine, acide lactique, glycose) ; les autres, comme les globules rouges du sang, vivent aux dépens d'une matière imprégnée dans leur propre stroma.

C. — Les diastases, les venins, les virus vrais (vaccine, morve), résistent à l'action de l'oxygène à haute tension.

D. — Les effets fâcheux de la diminution de pression peuvent être efficacement combattus par la respiration d'un air suffisamment riche en oxygène pour maintenir à la valeur normale (20,9) la tension de ce gaz dans l'air.

Ceux de l'augmentation de pression le seront en employant de l'air assez pauvre en oxygène pour arriver au même résultat.

E. — D'une manière générale, les gaz favorables ou nuisibles (oxygène, acide carbonique, etc.) n'agissent que suivant la tension qu'ils possèdent dans l'atmosphère ambiante, tension qui se mesure en multipliant la proportion centésimale par la pression barométrique. L'augmentation de l'un des facteurs peut être compensée par la diminution de l'autre.

F. — Lorsque les animaux possèdent des réservoirs d'air, soit complétement clos (vessie natatoire des poissons acanthoptérygiens, etc.), soit en communication avec l'air pendant la décompression seule (vessie natatoire des cyprins, intestins des vertébrés aériens, etc.), soit en communication avec l'air pendant la compression comme pendant la décompression, mais par des orifices trop étroits (poumons des vertébrés aériens, etc.), la diminution ou l'augmentation de pression peuvent avoir des effets physico-mécaniques.

G. — La décompression brusque à partir de plusieurs atmosphères n'a d'effet (sauf réserve pour quelques cas compris dans la conclusion F) qu'en laissant revenir à l'état libre l'azote qui s'était, à la faveur de la pression, dissous en excès dans le sang et les tissus.

H. — Les êtres actuellement existants à l'état sauvage sur la surface du globe, sont accommodés au degré de tension oxygénée sous laquelle ils vivent : toute diminution, toute augmentation paraît leur être défavorable quand ils sont dans l'état de santé.

La thérapeutique peut tirer un parti utile de ces modifications dans divers états pathologiques.

I. — La pression barométrique et la proportion centésimale de l'oxygène n'ont pas toujours été les mêmes sur notre globe. La tension de ce gaz a vraisemblablement été et continuera sans doute d'aller en diminuant. C'est là un facteur dont on n'a pas encore tenu compte dans les spéculations biogéniques.

La puissance de réaction contre ces diverses modifications conduit à supposer que les êtres microscopiques ont dû apparaître les premiers et qu'ils disparaîtront les derniers, lorsque la vie s'éteindra par insuffisance de tension d'oxygène.

K. — Il est inexact d'enseigner, comme on le fait d'ordinaire, que les végétaux ont dû apparaître sur la terre avant les animaux, afin de purifier l'air de la grande quantité d'acide carbonique qu'il contenait. En effet, la germination, même celle

des moisissures, ne se fait pas dans l'air assez chargé d'acide carbonique pour être mortel aux animaux à sang chaud.

Il l'est tout autant, ainsi que je l'ai fait observer il y a longtemps, d'expliquer l'antériorité des reptiles par rapport aux animaux à sang chaud, par l'impureté de l'air souillé de trop d'acide carbonique; les reptiles, en effet, redoutent ce gaz plus encore que les oiseaux, et surtout que les mammifères.

VII *bis*. — *Instruction aux voyageurs en haute montagne.*

(Soc. d'anthropologie, 1878.)

Indication de deux expériences simples dont les résultats pourraient être d'un grand poids dans la question de l'acclimatement sur les hauts lieux.

1° L'acclimatement tiendrait-il à une augmentation dans la faculté qu'a le sang d'absorber l'oxygène? Pour juger cette hypothèse, il suffira de recueillir 100 grammes de sang défibriné d'un animal acclimaté pour faire ultérieurement, la putré faction n'ayant aucune action (Jolyet) sur cette propriété, l'étude de sa capacité respiratoire.

2° Tient-il à ce qu'il se fait des économies sur les usures intra-organiques, et qu'il se forme par suite moins d'acide carbonique dans un temps donné? Le rhythme respiratoire ne changeant pas, il suffira de remplir avec de l'air expiré un petit flacon qu'on bouchera avec soin, pour y rechercher ensuite la proportion centésimale de l'acide carbonique. Si sa quantité n'a pas changé, la proportion centésimale devra avoir augmenté dans le rapport inverse de la dépression.

D. — Respiration (chimie physiologique).

VIII. — *Sur la respiration des différents tissus d'un même animal ou d'un même tissu d'animaux différents.*

(*Soc. de biologie*, 1868, et *Leçons* (1), p. 45-65.)

1° Les différents tissus d'un même animal, exposés à l'air ou plongés dans du sang artériel et placés dans des conditions identiques, n'absorbent pas des quantités

(1) Je cite sous ce titre abrégé mon livre intitulé : *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, in-8, xxxv-588 pages, avec 150 fig. Paris, 1870.

Voici la table des leçons qui composent cet ouvrage : 1re et 2e leçons : Revue historique ; 3e et 4e, respiration des tissus ; 5e à 9e, du sang et de ses gaz ; 10e, des milieux respirables ; 11e à 19e, des mécanismes respiratoires ;

égales d'oxygène; ils se placent dans la série décroissante suivante : muscles, centres nerveux, reins, rate, testicules, os.

2° Les mêmes tissus provenant d'animaux différents ne consomment pas des quantités égales d'oxygène. Le muscle d'un animal à sang chaud en consomme plus que celui d'un animal à sang froid; celui d'un chien plus que celui d'un lapin; celui d'un animal adulte plus que celui d'un nouveau-né, etc.

3° Il n'y a aucun rapport constant entre la quantité d'oxygène consommé et celle d'acide carbonique exhalé dans l'atmosphère.

4° La quantité d'oxygène absorbé augmente avec la température, dans les limites physiologiques.

La connaissance de ces faits rendra des services pour l'établissement de la théorie de la respiration; elle éloigne déjà l'idée de combustions simples. Elle sert aussi à expliquer certaines différences dans la résistance à l'asphyxie de quelques animaux.

IX. — *Sur la richesse oxygénée du sang artériel d'un même animal, soumis à des conditions différentes, et du sang d'animaux différents soumis à des conditions identiques.*

(*Soc. de biologie*, 1868, et *Leçons*, p. 115-152.)

1° Le sang artériel d'un animal à jeun est plus riche en oxygène que celui d'un animal en digestion.

2° La richesse oxygénée du sang artériel et veineux augmente avec la richesse en oxygène du milieu respiré; la combinaison de l'oxygène et de l'hémoglobine n'échappe pas entièrement à la loi de Dalton.

3° Le sang artériel d'un animal endormi par le chloroforme est plus oxygéné au début du sommeil qu'il ne l'était avant l'action du poison.

4° Le sang artériel d'un chien contient plus d'oxygène que celui d'un lapin, etc.

5° Le sang artériel de l'animal nouveau-né contient beaucoup moins d'oxygène que celui de l'adulte.

IX *bis*. — *Observations nouvelles sur les gaz du sang.*

(*Pression*, p. 1028.)

C'est le résumé de plus de cent analyses de gaz du sang que j'ai été amené à faire dans mes expériences sur la pression barométrique.

20°, du diaphragme et de l'expiration ; 21°, contractilité pulmonaire; de la pression intra-pulmonaire; 22°, nombre des mouvements respiratoires chez divers animaux; 23°, influence de certaines conditions sur le rhythme respiratoire; 24°, effets de la section des nerfs pneumogastriques; 25°, 26°, des effets de l'excitation de certains nerfs sur la respiration; 27°, 28°, asphyxie dans une atmosphère confinée; 30°, de l'acte du plonger; 31°, résistance à l'asphyxie des animaux nouveau-nés. — Résumé du cours.

La moyenne (gaz du sang artériel de chiens) a été pour l'oxygène 19,4 volumes de gaz pour 100 volumes de sang, et pour l'acide carbonique 40,4; avec écarts pour le premier gaz de 24 à 14,4, et pour le second de 50,4 à 33.

IX *ter*. — *Rapports entre la rutilance du sang et sa richesse en oxygène.*

(*Soc. de biologie*, 1874.)

La rutilance du sang indique simplement la richesse en oxygène de la combinaison oxyhémoglobique, mais non la richesse en oxygène du sang lui-même.
Le sang des nouveau-nés, très-rutilant, contient peu d'oxygène.

IX *quater*. — *Sur l'état dans lequel se trouve l'acide carbonique du sang artériel, du sang veineux et des tissus.*

(*Soc. de biologie*, 1877; *Pression*, p. 1036).

Une méthode expérimentale très-simple me permet d'affirmer que les alcalis du sang et des tissus ne sont jamais saturés par l'acide carbonique; en conséquence sa sortie dans l'acte respiratoire est toujours un fait de dissociation des bicarbonates et des phosphocarbonates.
Si l'on amène artificiellement la saturation, les accidents toxiques se manifestent aussitôt qu'il y a dans le sang de l'acide carbonique dissous.

X. — *Sur le phénomène de l'apnée.*

(*Leçons*, p. 127.)

On obtient l'arrêt momentané des mouvements respiratoires non-seulement en faisant, comme Rosenthal, respirer à l'animal de l'oxygène pur, mais en exagérant considérablement la rapidité des mouvements respiratoires.

XI. — *De la prétendue influence de la taille sur l'intensité des phénomènes respiratoires.*

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 501-504.)

On sait que, dans un temps donné, un petit animal consomme, par rapport à son poids, plus d'oxygène qu'un gros. On a attribué cette différence à la différence de taille elle-même, qui expose les petits animaux, dont la surface est plus grande par rapport au volume, à une plus forte déperdition de calorique. Les expériences

indiquées dans le présent travail montrent que cette différence persiste lors même que les animaux sont enfermés dans une enceinte chauffée à une température égale à celle de leur corps. Il y a donc à ce phénomène une raison véritablement physiologique, qui a trait aux propriétés des tissus vivants.

XII. — *Composition de l'air des alvéoles pulmonaires.*

(*Leçons*, p. 160.)

Extraction directe, sur l'animal vivant, par un vide soudain. Fracture de toutes les côtes, expérience du crève-vessie. L'air contient, suivant le temps respiratoire, de 5 à 8 pour 100 d'acide carbonique, de 11 à 14 d'oxygène. C'est en présence de cet air vicié, et non d'air pur que se font les échanges gazeux de la respiration.

D bis. — Respiration (Asphyxie).

XIII. — *Asphyxie dans l'air confiné des vertébrés à respiration aérienne.*

(*Soc. philomathique*, 1869 ; *Leçons*, p. 507.)

Nombreuses expériences : Les oiseaux laissent dans l'air où ils ont succombé de 2 à 5 pour 100 d'oxygène; les mammifères et surtout les rongeurs en laissent moins encore. Les reptiles, en été, épuisent beaucoup plus l'oxygène de l'atmosphère.

L'air des poumons d'un animal étranglé contient encore 1 à 2 pour 100 d'oxygène.

Les animaux en état d'hibernation, les animaux nouveau-nés n'épuisent pas plus l'air d'oxygène que leurs semblables éveillés ou adultes.

La quantité centésimale d'acide carbonique vario de 11 à 17. Dans le poumon d'animal étranglé, elle s'abaisse à 6 ou 7.

XIII *bis*. — *Mort des vertébrés à respiration aérienne dans une atmosphère confinée suroxygénée.*

(*Soc. philomathique*, 1869 ; *Leçons*, p. 517.)

Nombreuses expériences : Quand la richesse en oxygène de l'atmosphère employée est suffisante pour éviter l'asphyxie par épuisement d'oxygène, les animaux à sang

chaud y meurent après avoir formé de 25 à 40 pour 100 d'acide carbonique ; les reptiles, quand ils en ont formé de 15 à 18 pour 100 seulement.

Les reptiles redoutent donc beaucoup plus l'acide carbonique que les animaux à sang chaud. Remarques paléontologiques à ce sujet.

XIII *ter*. — *Sur les convulsions des animaux asphyxiés.*

(*Leçons*, p. 505.)

C'est un phénomène qui se présente ou qui manque, suivant que l'asphyxie est rapide ou lente ; il n'a donc pas la valeur théorique qu'on lui a attribuée.

XIV. — *Sur la cause intime de la mort par asphyxie dans l'air confiné.*

(*Leçons*, p. 523.)

L'examen de la composition de l'air normal ou suroxygéné où meurent les animaux confinés montre que :

1° Dans l'asphyxie des animaux à sang chaud, la privation d'oxygène est tout, l'acide carbonique ne jouant presque aucun rôle ;

2° Dans celle des animaux à sang froid, au contraire, c'est l'acide carbonique qui amène la mort.

Ces conclusions ont été corroborées par l'étude du séjour dans l'air comprimé confiné, et par celle des gaz du sang pendant l'asphyxie.

XIV *bis*. — *Etudes nouvelles sur l'asphyxie.*

(*Pression*, p. 1019-1028.)

Ces recherches portent particulièrement sur l'analyse des gaz du sang à divers moments de l'asphyxie par strangulation, ou en vase clos, avec correspondance, dans ce dernier cas, avec la composition de l'air confiné.

J'y signale, entre autres, ce fait curieux, que dans les derniers moments de la vie, en vase clos, l'acide carbonique sort du sang pour se répandre dans l'air. Démonstration de cette vérité, que l'acide carbonique ne joue à peu près aucun rôle dans l'asphyxie.

XV. — *Des mammifères plongés dans l'eau attirent-ils le liquide par aspiration dans leurs poumons ?*

(*Soc. philomathique*, 1864.)

Preuves multiples que l'eau pénètre dans les poumons. Réfutation des idées de Beau sur l'influence des nerfs de la cinquième paire ; division de la submersion en trois périodes : l'une pendant laquelle l'animal, ayant conscience de sa situation, cesse *volontairement* tout mouvement respiratoire ; la seconde, pendant laquelle, la volonté ayant disparu, surviennent des mouvements respiratoires inconscients, qui amènent l'eau dans les poumons ; la troisième, pendant laquelle tout mouvement respiratoire a cessé, le cœur battant encore. L'eau introduite dans les poumons s'y absorbe avec une rapidité extraordinaire. Dans le traitement des noyés, il convient d'insister, plus qu'on ne le fait depuis l'introduction dans la pratique de la respiration artificielle, sur les procédés (frictions, réchauffement) qui activent la circulation et hâtent l'absorption de l'eau entrée dans le poumon.

XVI. — *Résistance à l'asphyxie par submersion de diverses espèces d'animaux à sang chaud.*

(*Soc. philomathique*, 1864 ; *Leçons*, p. 533-539.)

Énumération d'expériences faites sur une trentaine d'espèces. Parmi les oiseaux, les canards se placent au premier rang pour la résistance (7 à 16'), puis les râles (4'), et ensuite les grèbes (2 à 3'), qui paraissent, cependant, si bien organisés pour l'acte du plonger.

Un phoque (à jeun depuis 15 jours), a lutté pendant 15' ; dernier battement de cœur à 28'.

Dans un même groupe zoologique très-étroit, la résistance est en rapport avec la taille. Une alouette meurt en 45', un roitelet en 20' ; un canard domestique en 11' 17'' (moyenne), une sarcelle en 7' 15''.

XVI *bis*. — *Sur les animaux plongeurs : comparaison du canard au poulet.*

(*Leçons*, p. 540-553.)

La faculté de plonger avait été expliquée exclusivement par des mécanismes anatomiques (réservoirs veineux, compression de l'aorte ou de la carotide, etc.).

La comparaison du canard (résistance moyenne à l'asphyxie par submersion, 11' 17''), au poulet (résistance moyenne, 3' 30'') m'a montré que :

1° Les mécanismes circulatoires sont hors de cause ;

2° La richesse en oxygène du sang artériel est peu différente ;

3° La persistance des propriétés vitales après la mort est plus grande pour les centres nerveux chez le canard, moindre pour les muscles ;

4° La respiration du tissu musculaire est sensiblement égale ;

5° La quantité de sang est beaucoup plus forte chez le canard que chez le poulet.

C'est à cette grande richesse en sang du canard, au magasin d'oxygène qu'il contient, que j'attribue sa résistance à la submersion. En enlevant à un canard environ la moitié de son sang, il se noie à peu près dans le même temps qu'un poulet.

Cette grande quantité de sang a été signalée chez tous les plongeurs (phoque, cétacés, etc.). Les dispositions anatomiques sur lesquelles on a beaucoup insisté ne semblent jouer qu'un rôle de perfectionnement, et l'expérimentation n'a rien donné sur leur valeur.

XVI *ter*. — *Comparaison nouvelle entre le canard et le poulet.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

En appliquant à cette comparaison les méthodes récemment inventées par M. Gréhant et M. Jolyet, on voit :

1° Que la quantité de sang est chez le canard beaucoup plus considérable que chez le poulet (vérification des anciennes expériences).

2° Qu'en outre le sang du canard absorbe un peu plus d'oxygène que celui du poulet.

3° Que la capacité pulmonaire du canard est très-supérieure à celle du poulet, ce qui doit jouer encore un grand rôle dans la résistance à l'asphyxie.

XVI *quater*. — *Quantité d'oxygène contenu dans le sang d'un marsouin et dans celui d'un chien.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

On saigne ces animaux à blanc, on lave les tissus ; puis, on détermine la quantité de sang contenue dans chacun d'eux, et la quantité d'oxygène que ce sang est capable d'absorber.

On trouve ainsi que par unité de poids (défalcation faite de la peau et du lard), le marsouin a à sa disposition beaucoup plus d'oxygène que le chien.

XVII. — *Sur la raison pour laquelle certains poissons vivent plus longtemps à l'air que certains autres.*

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 255.)

Expériences montrant qu'il ne suffit pas, pour expliquer ces faits, d'invoquer, ainsi qu'on le fait toujours, des raisons purement anatomiques, comme la largeur différente des ouvertures operculaires, etc., par exemple. L'ablation des opercules ne modifie pas la durée de la vie dans le sens qu'indiquerait la théorie généralement admise.

L'étude des différences entre les propriétés des tissus des divers poissons permet seule de résoudre la question. Les tissus musculaires et nerveux de ceux qui résistent à cette sorte d'asphyxie dans l'air conservent très-longtemps après la mort de l'animal leurs propriétés vitales.

XVIII. — *Sur le « problème de Harvey », c'est-à-dire la résistance à l'asphyxie des animaux à sang chaud nouveau-nés.*

(*Soc. philomathique*, 1864; *Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 554-562.)

Expériences constatant une fois de plus cette résistance, l'étendant à certains oiseaux, et montrant entre autres faits nouveaux qu'elle diminue quand la température augmente.

Preuves qu'elle n'est pas due, comme on l'enseignait partout, à la persistance des voies circulatoires fœtales. En effet :

1° On observe, chez les rats âgés de quelques jours, un moment où ces voies sont oblitérées et où les jeunes animaux résistent encore longtemps à l'asphyxie.

2° Chez un canard qui vient d'éclore, ces voies sont encore perméables, et cependant la mort par asphyxie survient beaucoup plus vite (1′ 1/2) que chez les adultes.

Elle s'explique par la persistance après la mort des propriétés vitales de leurs éléments anatomiques (nervosité, contractilité, etc.), par la faible consommation d'oxygène de leurs tissus, et par suite, probablement, par la composition chimique de ces tissus.

D ter. — Respiration (Mécanismes).

XIX. — *Rapport de la taille des animaux avec le nombre de leurs mouvements respiratoires.*

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 390-400.)

On enseigne partout que le nombre des mouvements respiratoires est en raison inverse de la taille des animaux. Mes observations montrent que cela n'est vrai que dans un même groupe naturel (chats, cerfs, etc.). Pour les animaux de groupes différents, il n'y a nul rapport entre la taille et la respiration.

Ainsi, à taille égale, les mammifères herbivores respirent plus fréquemment que les carnivores, les oiseaux beaucoup moins fréquemment que les mammifères. Le minimum du nombre des mouvements respiratoires (2 à 3 par minute) a été présenté par le casoar de la Nouvelle-Hollande.

Mêmes conséquences pour les animaux à sang froid. Chez ceux-ci, ceux dont les tissus conservent le plus longtemps après la mort leurs propriétés vitales sont ceux qui respirent le moins souvent.

XX. — *Sur la capacité pulmonaire de divers vertébrés à sang chaud.*

(*Leçons*, p. 402-406.)

Le lapin, à taille égale, a une capacité pulmonaire moindre que le chat, etc.

XXI. — *Influences de certaines conditions sur le rhythme respiratoire.*

(*Leçons*, p. 407-431.)

Elles ont été étudiées au moyen de la méthode graphique.

1° Obstacles à la libre circulation de l'air dans les poumons.

2° Poisons divers (curare, strychnine, chloroforme, acide phénique, digitale).

3° Asphyxie.

4° Hémorrhagie mortelle.

XXII. — *Sur la contractilité pulmonaire.*

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 379-381.)

Démonstration définitive de la puissance contractile des poumons chez les mammi-

fères, les tortues, les lézards, et de la partie antérieure du poumon des serpents. Les physiologistes étaient encore très-divisés sur ce point.

La contraction du poumon est sous la dépendance du nerf pneumogastrique.

Chez les mammifères, le pneumogastrique perd son action sur le poumon du quatrième au sixième jour après sa section. La contractilité pulmonaire elle-même disparaît alors en quinze jours. Après quatre mois, elle n'est pas encore revenue. Cette disparition n'a aucune influence sur la constitution générale du poumon ni sur la santé de l'animal.

XXIII. — *Sur la diminution de pression qui se fait dans les poumons pendant l'inspiration, et sur la compression pendant l'expiration.*

(*Soc. de biologie*, 1868 ; *Leçons*, p. 381-389.)

Un animal étant placé sous une cloche tubulée, et disposée de manière que les changements de volume de l'air intérieur puissent s'inscrire sur le cylindre enregistreur, on voit qu'à chaque inspiration le volume de l'air augmente, qu'à chaque expiration il diminue. Cela ne peut s'expliquer qu'en admettant que l'orifice de la glotte ne débite pas assez d'air pour satisfaire à l'appel inspiratoire et à l'expulsion expiratoire. Il se fait donc, pendant la respiration ordinaire, de véritables modifications dans la pression intra-pulmonaire. Les tracés montrent que ces modifications s'exagèrent par les efforts. Conséquences pathogéniques.

XXIV. — *Sur le mécanisme de l'expiration.*

(*Leçons*, p. 358-361.)

L'élasticité pulmonaire suffit pour produire l'expiration la plus complète ; les muslces dits expirateurs n'interviennent que pour la rendre plus rapide.

XXIV *bis*. — *Sur le cri et le chant.*

(*Leçons*, p. 363-367.)

Pendant le chant soutenu d'une note, le débit aérien de la glotte reste le même, quelle que soit cette note. Mais il augmente aussitôt qu'on fait varier la note.

XXV. — *Sur les changements dans la pression de l'air intra-pulmonaire dus aux battements du cœur.*

(*Leçons*, p. 337.)

Les mouvements du cœur peuvent être enregistrés par la trachée ouverte.

XXVI. — *Influence des mouvements respiratoires sur la pression intra-abdominale.*

(*Leçons*, p. 339-346.)

Cette influence est très-variable, suivant diverses circonstances analysées avec soin par la méthode graphique.

XXVII. — *Du dernier soupir.*

(*Leçons*, p. 431.)

Dans les morts par arrêt du cœur ou sidération nerveuse brusque, il y a un *dernier soupir*. Dans les morts lentes, la respiration s'affaiblit et se ralentit progressivement. Application à la médecine légale.

XXVIII. — *Sur l'élévation des côtes inférieures par la contraction du diaphragme.*

(*Soc. de biologie*, 1868, et *Leçons*, p. 349-357.)

Démonstration par la méthode graphique d'une proposition contestée par beaucoup de physiologistes. Les tracés obtenus au moyen des appareils enregistreurs montrent que, sur un chien récemment tué, l'excitation des nerfs phréniques élève les côtes inférieures par la contraction du diaphragme et, en même temps, ce qui n'avait pas été signalé jusqu'ici, abaisse la quatrième et la cinquième côte.

L'élévation des côtes est due à la résistance des viscères abdominaux ; le ventre étant ouvert, on obtient, à chaque contraction, un tracé qui indique un abaissement.

XXIX. — *Sur les mouvements respiratoires chez les animaux vertébrés, étudiés le plus souvent à l'aide de la méthode graphique* (1).

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 199.)

A. — Poissons.

1° *Poissons osseux.* — Les mouvements de la bouche, des ouïes et du pharynx sont simultanés, au contraire des descriptions classiques (Duvernoy, C. Duménil) qui les donnent comme successifs.

2° *Poissons cartilagineux.* — L'évent, lorsqu'il existe, est exclusivement inspirateur.

(1) Ces tracés ont été obtenus tantôt en coiffant la tête des animaux avec de petites muselières à fermeture hermétique, tantôt en recueillant les mouvements extérieurs à l'aide d'appareils dont la disposition a dû varier pour chaque animal (ampoules de caoutchouc, ceintures élastiques, tambours à soufflet, etc.).

3° *Cyclostomes*. — L'eau entre et sort exclusivement par les orifices branchiaux, non par la bouche. Il y a à chaque expiration jet d'eau par les narines, malgré la négation de C. Duméril.

B. — BATRACIENS, GRENOUILLES.

Démonstration définitive de ce fait encore contesté, que les grenouilles ne respirent que par déglutition.

La succession des mouvements respiratoires si compliqués chez ces animaux se résume dans le tableau suivant :

NARINES.	GORGE.	GLOTTE.	POUMON.
1° Entrée d'air, béantes.	Abaissement, inspiration.	Fermée.	Repos.
2° Sortie d'air, béantes.	Temps d'arrêt en abaiss.	Ouverte.	Expiration.
3° Sortie d'air, rétrécies.	Relèvement expiratoire.	Ouverte.	Inspiration.
1° Entrée d'air, béantes.	Abaissement inspiratoire.	Fermée.	Repos
Etc.	Etc.	Etc.	E^t

C. — REPTILES.

a. — *Tortues*. — Constatation première : phases singulières du mouvement respiratoire. Elles se décomposent ainsi : inspiration profonde, demi-expiration, repos en demi-expiration durant parfois 1 minute, fin de l'expiration, inspiration nouvelle, etc.

L'enregistrement de la respiration par le bout inférieur de la trachée coupée en travers donne la preuve évidente de ce fait, contraire à l'enseignement classique, que les tortues aspirent et expirent l'air comme les autres reptiles et ne le déglutissent nullement. Détermination expérimentale du muscle inspirateur.

Démonstration certaine, par la méthode graphique, de ce fait que les mouvements respiratoires sont indépendants des mouvements des membres, bien que ceux-ci puissent augmenter la force de ceux-là.

b. — *Lézards*. — Mouvements respiratoires assez semblables à ceux des tortues, mais plus fréquents.

c. — *Crocodiles*. — Font généralement deux inspirations et deux expirations successives, suivies d'un arrêt souvent très-long en inspiration. L'animal reste ainsi gonflé par l'oblitération de la glotte. Les mouvements de la gorge, semblables à ceux qu'exécutent les tortues, n'introduisent d'air que dans le pharynx.

d. — *Serpents*. — Inspirations longues, surtout en hiver, avec brassement de l'air dans le poumon par les mouvements du corps.

En résumé, chez tous les reptiles il y a : 1° inspiration par appel thoracique, même chez les tortues ; 2° repos plus ou moins long en inspiration complète (crocodiles, serpents), ou en demi-expiration (tortues, lézards).

D. — Oiseaux.

Les tracés montrent : 1° la simultanéité d'ampliation du thorax dans les deux sens antéro-postérieur et transversal ; cette dernière avait été négligée par les auteurs. On voit, entre autres détails, qu'il n'existe pas, chez les oiseaux, non plus que chez les mammifères, de pause en inspiration ou en expiration.

2° L'antagonisme du jeu du thorax et de celui des sacs aériens extra-thoraciques (mouvements de l'abdomen).

3° La simultanéité d'action du thorax et des sacs aériens intra-thoraciques (tracés obtenus en enregistrant les mouvements de l'air qui entre à la fois par la trachée et par l'humérus ouvert).

Discussion expérimentale des divers rôles attribués aux sacs aériens pulmonaires relativement à la densité, au vol, à la natation, au renforcement de la voix. Les sacs extra-thoraciques servent à oxygéner le sang pendant l'expiration, les intra-thoraciques à humidifier et réchauffer l'air inspiré.

E. — Mammifères.

De nombreux graphiques montrent que chez aucun mammifère il n'y a de pause ni en inspiration ni en expiration.

XXX. — *Ablation des branchies et des poumons chez un axolotl.*

(*Soc. de biologie*, 1868.)

La respiration cutanée aquatique suffit pour entretenir la vie de ces animaux pendant les saisons d'hiver et de printemps : en été, non.

L'axolotl a besoin de venir respirer à la surface de l'eau pour vivre.

E. — Innervation.

XXXI. — *Sur la propriété qu'ont les nerfs sensitifs de transmettre dans les deux sens une excitation portée en un point de leur parcours.*

(*Soc. de biologie*, 1863 ; *Acad. des sciences*, 1877.)

En 1863 j'avais fait l'expérience suivante :

Écorché sur 2 à 3 centimètres de longueur le bout de la queue d'un rat; intro-

duit ce bout sous la peau du dos de l'animal ; après la cicatrisation (quinze jours) coupé l'anse. Six mois après, la sensibilité reparaît dans le bout pendant au dos.

J'en avais conclu que dans les nerfs de sensibilité l'impression peut se transmettre dans la direction centrifuge, en sens inverse du cours normal, et c'était un grand argument en faveur de l'unité de propriété des nerfs, soutenue par M. Vulpian.

Mais des recherches plus récentes ayant changé les idées des histologistes sur le mode de reproduction des nerfs séparés de leurs centres trophiques, j'ai modifié mon expérience pour répondre aux objections possibles.

Je ne fais la section de l'anse caudale que huit mois après l'opération autoplastique. Dans ces conditions, immédiatement après la section, le bout périphérique de la queue est sensible ; la sensibilité disparaît les jours suivants par dégénérescence des nerfs.

Je considère donc comme inattaquables mes conclusions de 1863.

L'expérience nouvelle a montré de plus que les relations des nerfs avec les centres sensibles s'établissent plus vite qu'avec les centres trophiques.

XXXI *bis*. — *Sur une particularité de la transmission des excitations dans les nerfs sensitifs.*

(*Soc. de biologie*, 1877.)

La queue d'un rat est écorchée annulairement au milieu de sa longueur, puis passée en séton sous la peau de son dos ; la cicatrisation faite, l'anse est coupée entre le dos et l'anus, et toute sensibilité disparaît aussitôt dans les deux tronçons.

Six mois après, la sensibilité y revient, mais plus tôt et plus fort dans le gros bout (sens inverse du cours normal) que dans le petit (sens direct).

XXXII. — *Sur la question de savoir si tous les animaux voient les mêmes rayons lumineux que nous.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1867 ; *Arch. de physiologie*, 1869 ; *Acad. des sciences*, 1869.)

Cette question a été étudiée en soumettant aux diverses régions du spectre solaire de petits crustacés microscopiques ; il m'a amené aux conclusions suivantes :

A. Tous les animaux voient les rayons spectraux que nous voyons ;

B. Ils ne voient aucun de ceux que nous ne voyons pas ;

C. Dans l'étendue de la région visible, les différences dans le pouvoir éclairant des différents rayons colorés sont les mêmes pour eux et pour nous.

En d'autres termes, il existe entre la force vive de certaines vibrations éthérées (entre huit cents et trois cents millionièmes de millimètre) d'une part, et, d'autre

part, la constitution de la matière nerveuse, envisagée soit dans certaines de ses terminaisons périphériques, soit dans certains centres nerveux, des rapports tels, que cette force vive puisse se transformer en impressions et donner naissance à des sensations et à des perceptions identiques pour chaque vibration prise en particulier.

XXXII *bis.* — *Sur le Daltonisme des animaux inférieurs.*

(*Soc. de biologie*, 1871.)

Des expériences faites sur des poissons, des crustacés, des araignées, des insectes, des myriapodes, des mollusques, m'ont montré que ces animaux, bien que voyant le rouge, en sont moins impressionnés que par les autres couleurs.

XXXII *ter.* — *Sur les animaux dits à tort lucifuges.*

(*Soc. de biologie*, 1871.)

Il n'y a pas d'animaux *lucifuges*. Tous recherchent la lumière, bien qu'à des degrés d'intensité très-divers.

XXXIII. — *Sur l'impression produite par les verres verts vus à distance.*

(*Soc. de biologie*, 1876 et 1877.)

Les lanternes vertes vues à grande distance paraissent très-souvent bleues, surtout quand l'air est humide. Le virement se fait tout d'un coup.

Ce fait est resté inexpliqué, malgré les tentatives d'oculistes distingués.

XXXIV. — *Sur les erreurs d'imitation des couleurs quand on les regarde à travers un milieu coloré.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

On dit d'un peintre qui peint jaune ou violet qu'il *voit* jaune ou violet. Or, il est facile de s'assurer expérimentalement que tels ne seraient pas les défauts d'un peintre qui réellement verrait avec une prédominance de jaune et de violet.

Expériences de copies de peinture faites soit sous des lumières colorées, soit avec des lunettes de couleur.

Elles montrent qu'un peintre qui voit rouge, par exemple, ne peut saisir ni les nuances du rouge, ni celles de la complémentaire verte, avec des différences suivant qu'on voit le rouge sur fond clair ou obscur, etc., etc.

Applications à la critique d'art.

XXXV. — *Sur les prétendus organes auditifs des crustacés décapodes.*

(Cours de 1869 sur les sensations.)

Les organes que les naturalistes allemands ont décrits comme des organes auditifs, et sur les filaments mobiles desquels Helmholtz a établi sa théorie de l'audition, peuvent être détruits chez les crabes sans que ces animaux cessent d'être sensibles aux bruits.

XXXVI. — *Action de la section des nerfs pneumogastriques chez les animaux vertébrés aériens sur le rhythme respiratoire.*

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 433-453.)

1° Tracés graphiques très-nombreux montrant, chez les mammifères, les oiseaux, les reptiles, l'influence de la section d'un ou des deux pneumogastriques sur le rhytnme respiratoire, les animaux étant ou non endormis par le chloroforme. Ces tracés révèlent des détails curieux, qui expliquent certaines contradictions des nombreux auteurs qui ont étudié ce sujet.

La section d'un seul pneumogastrique produit des effets analogues, mais à un très-faible degré.

La section des deux nerfs récurrents, l'arrachement des deux spinaux ne produisent rien.

Les animaux auxquels on a coupé les deux pneumogastriques meurent beaucoup plus facilement sous diverses influences; ils peuvent être anesthésiés très-facilement, bien qu'on ait affirmé récemment le contraire.

XXXVI *bis*. — *Sur les effets de la section dans le crâne des racines des nerfs pneumogastriques*

(*Soc. de biologie*, 1868; *Leçons*, p. 452.)

On avait dit qu'elle a pour conséquences la suppression immédiate de la respiration et la mort rapide des animaux. C'était une explication de la mort par la section du nœud vital de Flourens.

J'ai moutré qu'il n'en est rien, quand on prend des animaux nouveau-nés qui ne redoutent pas la perte de sang.

XXXVII. — *Des effets de l'excitation de certains nerfs sur la respiration.*

(Soc. de biologie, 1868; *Leçons,* p. 454-496.)

Ces nerfs sont ceux que j'ai appelés les nerfs *sentinelles* de la respiration : nasal, laryngé supérieur, pneumogastrique. Leur influence sur la respiration a été découverte par Traube, Cl. Bernard, M. Schiff. Mais les divergences les plus singulières s'étaient élevées entre ces expérimentateurs éminents.

Depuis les importants travaux de Rosenthal (1862), les physiologistes admettaient qu'il existe un antagonisme fonctionnel entre les nerfs pneumogastriques d'une part, les nerfs laryngés supérieurs et nasaux d'autre part. L'excitation des premiers ayant pour effet, lorsqu'elle est assez énergique, d'arrêter la respiration en tétanisant les muscles inspirateurs et en paralysant les expirateurs, celle des seconds ayant un résultat exactement inverse. D'où avait été déduite une théorie très-ingénieuse pour l'explication du rhythme respiratoire.

Le présent travail et les graphiques qui en sont la base ne permettent plus d'accepter cet antagonisme. A la formule de Rosenthal il convient de substituer celle-ci : toute excitation suffisamment énergique de l'un quelconque des trois nerfs susnommés arrête la respiration au moment même où elle est appliquée sur ce nerf, que ce soit en inspiration ou en expiration.

Voici, du reste, les conclusions de mon travail :

1° La respiration peut être arrêtée par l'excitation électrique ou traumatique des nerfs pneumogastriques, du larynx, des narines ;

2° Cet arrêt peut avoir lieu soit en inspiration, soit en expiration, par un quelconque de ces nerfs ;

3° Une excitation faible accélère la respiration ; une excitation plus forte la ralentit ; une excitation très-forte l'arrête. Ces mots « faible » et « fort » n'ayant qu'un sens relatif, pour un animal donné et dans des conditions données ;

4° Quand les mouvements respiratoires sont complétement arrêtés, il en est toujours de même des mouvements généraux de l'animal, qui reste immobile ;

5° La respiration revient pendant l'excitation même, et, lorsqu'on cesse celle-ci, elle s'accélère presque toujours;

6° L'arrêt en expiration est plus facile à obtenir que celui en inspiration; il y a même des animaux sur lesquels il est impossible d'obtenir celui-ci;

7° Si l'on emploie une excitation assez forte pour arrêter la respiration en inspiration, on peut faire cesser instantanément les mouvements respiratoires au moment même où l'excitant est appliqué (inspiration, demi-inspiration, expiration), en agissant sur un quelconque des trois nerfs sentinelles ;

8° L'arrachement préalable du nerf spinal est sans influence sur ces phénomènes.

9° Ces effets peuvent être obtenus même en expérimentant sur des animaux chloroformisés.

Le travail que je résume ici contient un très-grand nombre de représentations graphiques, qui ont été obtenues en mettant en expérience des mammifères, des oiseaux ou des reptiles.

Ces expériences ont été, depuis la publication de ce travail, fréquemment répétées devant de nombreux auditoires. Ç'a été ma seule manière de répondre aux critiques dont mon travail a été l'objet de la part de physiologistes suisses et allemands.

XXXVII *bis.* — *Sur une cause de mort subite non encore signalée.*

(*Soc. de biologie*, 1868 ; *Leçons*, p. 483-489.)

Cette mort rapide, sans convulsions, qu'on obtient assez aisément chez certains oiseaux et chez les mammifères affaiblis (tube dans la trachée, galvanisation d'un nerf pneumogastrique, serrement du larynx ou pincement du nez), n'est pas due à l'asphyxie, car chez les canards, qui résistent de dix à douze minutes à la strangulation, la perte de tout mouvement réflexe arrive en une ou deux minutes au plus. Il y a là une action centripète influençant directement et épuisant les centres nerveux.

Ces résultats s'obtiennent beaucoup plus facilement après la section des nerfs pneumogastriques; cette section donne, du reste, une énergie plus grande à la plupart des causes de mort ; le chloroforme, le curare, etc., tuent à plus faible dose les animaux dont les deux nerfs vagues viennent d'être coupés.

Applications pathologiques. Elles ont même été exagérées par certains médecins.

XXXVIII. — *Sur la cause de la mort qui suit la section des deux nerfs pneumogastriques.*

(*Leçons*, p. 492-497.)

Il est peu de questions sur lesquelles aient plus discuté les physiologistes. Le nombre considérable d'expériences que j'ai faites sur les conséquences de la section et de l'excitation des nerfs pneumogastriques m'a amené à cette conclusion :

La mort n'a pour raison ni la suppression des filets nerveux qui vont à l'estomac, ni celle des filets cardiaques, ni même celle des filets moteurs pulmonaires; il faut

l'attribuer exclusivement à la suppression des filets pulmonaires centripètes. Ces nerfs enlevés, le rhythme respiratoire est troublé parce que le centre nerveux respiratoire ne communique plus avec les poumons, et de là viennent les altérations connues et la mort qui les suit.

XXXIX. — *Sur l'innervation du diaphragme chez le chien.*

(*Soc. de biologie*, 1868, et *Leçons*, p. 348.)

L'origine médullaire des nerfs phréniques ne remonte qu'au niveau de la troisième paire cervicale. Il n'y a pas d'entre-croisement des nerfs phréniques dans la moelle.

Chacun des deux nerfs phréniques anime une des deux moitiés du diaphragme exclusivement.

Chacune des deux branches d'origine d'un phrénique fait contracter une moitié tout entière du diaphragme; cependant la branche supérieure se distribue surtout aux fibres sterno-costales, la branche inférieure surtout aux piliers.

XL. — *Sur le tic ou chorée des chiens.*

(*Soc. de biologie*, 1868, 1870; *Leçons*, p. 337.)

Dans un cas de tic des membres antérieurs, j'ai sectionné la moelle au-dessus et au-dessous de la naissance des nerfs des membres antérieurs, puis en deux, longitudinalement; les racines postérieures des nerfs et enfin le cordon postérieur de la moelle furent enlevés : le tic persista et ne disparut que par la section des racines antérieures.

Il disparaît pendant l'anesthésie due au chloroforme; la strychnine le réveille.

C'est donc une maladie des centres nerveux, et probablement des cellules sensibles de la moelle épinière.

XLI. — *Sur le tournoiement obtenu en injectant de l'eau froide dans l'oreille externe.*

(*Soc. de biologie*, 1869.)

On peut obtenir un tournoiement analogue à celui qui suit la section des canaux demi-circulaires, mais beaucoup moins énergique, en injectant très-doucement de l'eau glacée dans l'oreille d'un lapin. L'animal tombe sur le côté où a été faite l'injection et présente les modifications habituelles dans les mouvements de l'œil et de l'iris de ce même côté.

XLII. — *Hémisphères cérébraux et vaso-moteurs.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Ni l'irritation ni l'ablation d'un hémisphère cérébral n'ont, chez la chauve-souris et l'axolotl blanc, d'effet appréciable sur la circulation périphérique.

F. — Virus, Venins, Anesthésiques, Poisons.

XLIII. — *Sur la nature des virus morveux et vaccinal.*

(*Pression*, p. 922.)

Ils résistent à l'oxygène à haute tension et, par conséquent, ne doivent pas leur action à des microbes parasites.

XLIV. — *Sur la conservation des propriétés virulentes de certains sangs charbonneux après un séjour soit dans l'oxygène à haute tension, soit dans l'alcool.*

(*Soc. de biologie*, 1876, 1877, 1878; *Acad. des sciences*, 1877.)

Le point de départ de ces travaux, qui ont donné lieu à des discussions nombreuses, été celui-ci :

Certains sangs charbonneux conservent leurs propriétés après avoir été soumis à l'influence de l'oxygène à haute tension ou après avoir été mêlés à trois ou quatre fois leur volume d'alcool. La résistance à l'oxygène avait disparu au bout de neuf mois; celle à l'alcool dure encore après dix-sept mois.

Ces sangs ne contenaient pas de bactéridies.

D'autre sang, chargé de bactéridies, a été rendu rapidement inoffensif par l'oxygène ou l'alcool.

Grâce aux travaux de M. Pasteur, dont j'ai fait sur ce point la contre-épreuve, tout s'est expliqué. Les sangs résistants devaient leur action aux microspores des vibrioniens qu'il a découverts.

J'ajoute que le jus des feuilles de noyer, dont quelques chirurgiens ont vanté les vertus, est sans aucune action sur le charbon à bactéridies ou le charbon à vibrioniens.

XLV. — *Sur l'origine du virus rabique.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Expériences faites en vue de savoir lequel des liquides constitutifs de la bave rabique est doué de la propriété virulente.

L'inoculation des salives parotidienne, sous-maxillaire et sublinguale n'a rien donné.

L'inoculation des mucosités bronchiques, dans le seul cas où elle a été tentée, a été suivie de rage deux mois après. Comme il se pourrait, à la rigueur, que le chien eût été antérieurement mordu, d'autres expériences — qui sont en train — sont nécessaires pour faire la preuve certaine.

XLVI. — *Contributions à l'étude des venins.*

(*Soc. de biologie*, 1865; *Pression*, p. 921.)

Application des méthodes d'analyse physiologique à l'étude de l'action élémentaire de certains venins.

L'activité des venins persiste après la dessiccation, le séjour dans l'alcool concentré, l'action de l'oxygène à haute tension.

A. *Venin de Scorpion.* — Est un poison du système nerveux. Paraît agir spécialement, d'une part, sur l'extrémité périphérique des nerfs moteurs, comme le curare; d'autre part, sur l'excito-motricité de la moelle, qu'il exalte, comme la strychnine. Ces expériences ont été faites avec du venin desséché.

B. *Venin d'abeille xylocope.* — Est acide, doit son acidité à un acide fixe et paraît contenir, en outre, une base organique.

Ce venin n'agit pas directement sur le système musculaire ni sur le système nerveux. Il paraît être un poison du sang; les poumons s'engorgent.

Mes expériences m'ont amené à penser qu'il peut se faire une accoutumance à l'action des venins. Ce serait la meilleure explication des pratiques des psylles.

XLVII. — *Sur la résistance des mammifères nouveau-nés à l'action de certains poisons.*

(*Soc. de biologie*, 1869.)

Il faut, pour tuer avec de la strychnine un chien âgé de trois ou quatre jours, nviron dix fois plus de poison (eu égard à son poids) que pour un chien adulte ;

encore ne peut-on jamais obtenir une mort subite. Mais, chose curieuse, les convulsions arrivent avec des doses identiques (toujours relativement au poids) chez l'adulte et le nouveau-né; seulement elles ne tuent pas celui-ci. Mêmes phénomènes pour la digitaline.

Applications à la thérapeutique des enfants nouveau-nés.

XLVIII. — *Sur l'action élémentaire des anesthésiques (éther et chloroforme), et sur la période dite d'excitation qui accompagne leur administration.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1866, et *Acad. des sciences*, 1867.)

La période d'agitation qui accompagne l'administratiou de ces substances ne tient pas à une surexcitation directe des centres nerveux; mais chez les lapins, à l'effet irritant sur les muqueuses faciales, et peut-être encore chez les animaux plus intelligents, et chez l'homme, à l'effet de sensations perverties.

L'analyse physiologique montre que, quand on les administre par le poumon, les anesthésiques portent dans la moelle épinière leur action seulement sur la réceptivité sensitive, en respectant l'excito-motricité.

XLIX. — *Sur l'emploi du protoxyde d'azote comme anesthésique à action prolongée.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Le protoxyde d'azote n'a été employé jusqu'ici que pour obtenir des anesthésies de peu de durée; cela tient à ce que, pour arriver à l'insensibilité, il faut employer le gaz pur, ce qui amène rapidement des menaces d'asphyxie.

J'ai tourné la difficulté en employant, sous la pression d'un quart d'atmosphère, un mélange de trois quarts de protoxyde d'azote et d'un quart d'oxygène : la tension du gaz reste la même et l'asphyxie est évitée.

Dans ces conditions, j'ai pu maintenir des chiens pendant près d'une heure dans un état d'insensibilité complète, qui se dissipait en quelques secondes lorsqu'on revenait à l'air pur.

Pendant tout ce temps, la circulation et la respiration conservaient leurs rhythmes réguliers, et le système nerveux sympathique échappait tout entier à l'action anesthésique qui dominait le système cérébro-spinal.

Le protoxyde d'azote paraît donc présenter des conditions d'innocuité infiniment supérieures à celles des carbures d'hydrogène.

L. — *Différences présentées par l'asphyxie dans l'acide carbonique et dans l'azote par des mammifères nouveau-nés.*

(*Soc. philomathique*, 1864.)

Dans l'azote et l'hydrogène, la mort est beaucoup plus lente à survenir que dans l'acide carbonique; ce dernier gaz possède donc une véritable action toxique, fait très-important pour la théorie de la respiration et de l'asphyxie, et sur lequel on avait beaucoup discuté.

L *bis*. — *Action de l'acide carbonique dissous sur les poissons.*

(*Soc. de biologie*, 1874.)

Ils vivent indéfiniment dans l'eau contenant 20 pour 100 d'acide carbonique dissous. Ils meurent rapidement à 40 pour 100.

L *ter*. — *Sur l'action toxique de l'acide carbonique.*

(*Acad. des sciences*, 1873; *Soc. de biologie*, 1874; *Pression*, p. 982-1019.)

Cette étude, très-détaillée, se résume dans les conclusions suivantes :

A. Quand un animal respire en vase clos, soit dans l'air comprimé, soit à la pression normale, mais dans un air suroxygéné, en telle sorte que l'oxygène ne lui fasse jamais défaut, la tension croissante de l'acide carbonique dans l'air maintient une proportion croissante du même gaz dans le sang, en sorte que l'acide carbonique produit dans la profondeur des tissus reste dans ces tissus. Chez les chiens, le sang arrive à contenir de 110 à 120 volumes d'acide carbonique pour 100 volumes de sang, chiffres voisins de la saturation.

B. Il résulte de cette accumulation un ralentissement progressif des oxydations intra-organiques; d'où, comme conséquence, un abaissement considérable de la température du corps.

C. Le système nerveux central, dans cette action générale sur l'organisme, manifeste le premier qu'il est atteint, par la perte des transmissions réflexes, d'abord aux membres, puis à l'œil, puis enfin au centre respiratoire; d'où résulte la mort.

D. Aucune agitation, aucun mouvement convulsif ne précèdent la mort.

Le cœur, tout en ralentissant ses battements, conserve très-longtemps toute sa force et demeure l'*ultimum moriens*.

Ces deux faits ruinent définitivement les théories qui faisaient de l'acide carbonique, l'une un poison convulsivant, l'autre un poison du cœur.

E. L'anesthésie produite par l'acide carbonique paraît mériter d'attirer de nouveau l'attention des chirugiens; elle est complète à un moment où il s'en faut de beaucoup que la vie de l'animal soit en danger. Il faut cependant tenir compte de l'abaissement de la température et des curieuses convulsions de retour.

F. La vie végétale, la germination, le développement des moisissures, la putréfaction sont raleutis, suspendus, arrêtés définitivement par l'acide carbonique sous une tension suffisante,

G. Ainsi, l'acide carbonique est un poison universel, qui tue les animaux et les végétaux aériens ou aquatiques, de grande taille ou microscopiques; qui tue les éléments anatomiques isolés ou groupés en tissus. Et tout cela n'a rien d'étonnant, puisqu'il est le produit d'excrétion universelle de toutes les cellules vivantes; sa présence dans le milieu ambiant empêche cette excrétion, et arrête par conséquent, en y opposant un obstacle terminal, toute la série des transformations chimiques constituantes de la vie, qui commencent par l'absorption d'oxygène, et finissent par le rejet de l'acide carbonique.

LI — *M émoire sur l'action physiologique de l'acide phénique.*

(En collaboration avec le docteur Jolyet. — *Soc. de biologie*, 1869 et 1870.)

L'acide phénique (injecté dans l'estomac en dissolution au 30°), à dose mortelle (3 ou 4 grammes pour des chiens de moyenne taille), donne des convulsions avec des trépidations singulières qui sont dues à une excitation des cellules sensibles de la moelle épinière; elles disparaissent en effet par la section des nerfs moteurs et par l'emploi du chloroforme.

La mort est la conséquence de cette excitation exagérée; elle a pour mécanisme procbain une diminution des mouvements respiratoires et de la pression cardiaque, qui tombe à 2 et 3 centimètres.

A dose plus forte (6 à 7 grammes), l'acide phénique tue subitement sans convulsions, par arrêt des ventricules du cœur; le sang est rouge dans les cavités gauches.

A la dose limite (2 à 3 grammes), les animaux, après des convulsions qui durent trois à quatre heures, reviennent à eux et reprennent les apparences de la santé parfaite; mais fréquemment, au bout de quelques jours, surviennent des pneumonies et des kérato-conjonctivites : l'œil se vide et l'animal meurt.

Les doses faibles (1 gramme) peuvent être sans aucun inconvénient administrées pendant plusieurs mois.

Il se fait une accoutumance manifeste à l'action de l'acide phénique, mais cette accoutumance ne permet pas de dépasser beaucoup la dose mortelle ; nous n'avons pu aller chez les chiens au delà de 6 à 7 grammes.

LI *bis.* — *Sur la prétendue guérison du charbon par l'acide phénique.*

(*Soc. de biologie*, 1870.)

Expériences faites en 1865. On ne peut guérir un animal du charbon en lui donnant l'acide phénique à doses élevées, alors même qu'on l'administre avant l'inoculation du virus.

LI *ter.* — *Action de l'acide phénique sur divers alcaloïdes en dissolution.*

(*Soc. philomathique*, 1865 ; *Soc. de biologie*, 1865.)

L'agitation d'une solution aqueuse de curare, de strychnine, de digitaline ou de codéine avec quelques gouttes d'acide phénique suffit pour mettre toute la matière toxique sous forme d'une espèce d'émulsion, ce qui permet de la séparer à l'aide du filtre.

Cet effet a même lieu dans le sang en putréfaction. Application à la médecine légale.

LII. — *Sur la persistance des actes réflexes du nerf sympathique pendant l'empoisonnement par le curare.*

(*Arch. de physiologie*, 1869.)

On peut sur un animal bien immobilisé par le poison, et chez qui la respiration artificielle est entretenue, obtenir pendant des heures la dilatation de la pupille, la projection de l'œil en dehors, la contraction des vaisseaux de l'intestin, l'augmentation de la tension artérielle, enfin, fait non signalé jusqu'ici, la contraction de la vessie urinaire, lorsqu'on excite un nerf quelconque de sensibilité.

LIII. — *Action de l'oxyde de carbone sur la respiration musculaire et la contractilité.*

(*Leçons*, p. 50 ; *Soc. de biologie*, 1878.)

A. La présence (15 p. 100) d'oxyde de carbone dans l'air ne modifie pas l'absorption d'oxygène par des fragments de muscles qu'on y tient plongés.

B. La contractilité musculaire ne paraît pas diminuée par le séjour dans

l'oxyde de carbone pur, à la pression normale (muscles de grenouilles séparés du corps).

C. Sous la tension de trois ou quatre atmosphères, l'oxyde de carbone pur supprime rapidement la contractilité (muscles de grenouilles séparés du corps).

G. — Physiologie comparée.

LIV: — *Sur les fonctions du peigne des oiseaux.*

(En collaboration avec M. le docteur Boucheron. — *Soc. de biologie*, 1875.)

Cet organe vient, grâce à de légers mouvements du globe oculaire, se placer comme un écran entre le fond de l'œil et une lumière trop vive.

LV. — *Sur le mécanisme et les causes des changements de couleur chez le Caméléon.*

(*Acad. des sciences*, 1875; *Soc. de biologie*, 1874-1875.)

De l'ensemble des faits contenus dans ce mémoire, on peut tirer les conclusions suivantes :

A. Les couleurs et les tons divers que prennent les Caméléons sont dus au changement de lieu des corpuscules colorés, qui, suivant qu'ils s'enfoncent sous le derme, qu'ils forment un fond opaque sous la couche cérulescente, ou qu'ils s'étalent en ramifications superficielles, laissent à la peau sa couleur jaune, ou lui donnent les couleurs verte et noire.

B. Les mouvements de ces corpuscules sont commandés par deux ordres de nerfs, dont les uns les font cheminer de la profondeur à la surface, les autres produisent l'effet inverse. Dans l'état d'excitation maximum des deux ordres de nerfs à la fois, ces corpuscules se cachent sous le derme ; il en est de même dans l'état de repos complet (sommeil, anesthésie, mort).

C. Les nerfs qui font refluer les corpuscules sous le derme ont les plus grandes analogies avec les nerfs vaso-constricteurs.

Comme eux, en effet, ils suivent les nerfs mixtes des membres et le grand sympathique du cou; comme eux, ils ne s'entre-croisent point dans la moelle épinière; comme eux, ils ont, pour la tête, leur origine au commencement de la région dorsale ; comme eux, ils possèdent un centre réflexe très-puissant dans la moelle allon-

gée, la moelle épinière tout entière étant un autre centre beaucoup moins énergique; comme eux, ils sont respectés par le curare et empoisonnés par l'ésérine.

D. Les nerfs qui amènent les corpuscules vers la surface sont comparables aux nerfs vaso-dilatateurs; mais, si l'on est forcé d'admettre leur existence, il est difficile de dire quelque chose de bien net sur leur distribution anatomique et leurs rapports avec les centres nerveux; très-probablement ils traversent des cellules nerveuses avant de se rendre aux corps colorateurs.

E. Chaque hémisphère cérébral commande, par l'intermédiaire des centres réflexes, aux nerfs colorateurs des deux côtés du corps; mais il agit principalement sur les nerfs analogues aux vaso-constricteurs de son côté et sur les nerfs analogues aux vaso-dilatateurs du côté opposé.

Dans l'état régulier des choses, chaque hémisphère entre en jeu (en outre des excitations venant par la sensibilité générale) sous l'influences des excitations venant par l'œil du côté opposé.

F. Les rayons lumineux appartenant à la région bleu-violet du spectre agissent directement sur la matière contractile des corpuscules, pour les faire mouvoir et s'approcher de la surface de la peau.

Je me crois autorisé à exprimer l'espoir que ces recherches finiront par jeter quelque jour sur l'histoire si peu connue des nerfs vaso-dilatateurs; elles me serviront également de point de départ pour étudier l'action que la lumière doit exercer sur la substance contractile dans d'autres circonstances, et particulièrement sur les capillaires sanguins de la peau de l'homme.

LV *bis.* — *Sur le mécanisme de la projection de la langue chez le Caméléon.*

(*Soc. de biologie*, 1874.)

Solution expérimentale d'un petit problème qui a beaucoup occupé les anatomistes.

LVI. — *Respiration cutanée des batraciens dans l'eau.*

(*Soc. philomathique*, 1864.)

Démonstration directe de la consommation de l'oxygène de l'air dissous dans l'eau, par des grenouilles qui y ont été immergées.

LVII. — *Sur le développement des œufs de grenouille à l'air libre, sans eau.*

(*Soc. de biologie*, 1868.)

A l'air libre, les œufs de grenouille se développent beaucoup plus vite que quand ils sont submergés.

LVIII. — *Sur la respiration des jeunes hippocampes dans l'œuf.*
(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1867.)

Les œufs, au nombre de 300 environ, sont renfermés dans une poche qui ne présente qu'une très-petite ouverture. Ils sont serrés les uns contre les autres, et enveloppés chacun par une alvéole très-vasculaire. Ils respirent là, très-probablement, aux dépens du sang paternel (c'est, en effet, le père qui est ainsi en état d'incubation).

LIX. — *Note sur quelques points de la physiologie de la lamproie marine.*
(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1866.)

La respiration se fait toujours par les trous branchiaux. La digestion des matières grasses a lieu par émulsion. Dans l'arc veineux hépato-néphrétique (Gratiolet), le sang va des reins au foie, etc.

LX. — *Sur la physiologie de l'amphioxus.*
(*Acad. des sciences*, 1867.)

Observations et expériences sur le rôle de l'extrémité céphalique du système nerveux, sur la résistance vitale, sur l'action de divers poisons, sur celle de l'eau douce, etc.

C'est un fait très-remarquable que l'eau douce ayant complétement aboli la contractilité musculaire, celle-ci reparaît après une immersion de quelques heures dans l'eau de mer.

LXI. — *Sur la locomotion chez plusieurs espèces animales.*
(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1866.)

Observations et expériences sur le rhythme de la marche chez divers mammifères, sur l'ablation des rectrices ou des différentes rémiges chez les oiseaux, sur le rôle de leurs sacs pulmonaires; sur celui des nageoires chez les poissons; sur le rhythme de la marche chez plusieurs insectes et le rôle de leurs différentes paires de pattes ou d'ailes; sur la locomotion des céphalopodes.

LXII. — *Reproduction des parties enlevées chez certains animaux.*
(*Soc. philomathique*, 1863; *Soc. des sciences de Bordeaux*, 1867.)

Constatation de quelques faits nouveaux ou peu connus sur la reproduction des

nageoires des poissons, des membres de crustacés et de larves d'insectes, de la tête et la queue des annélides. Chez ces derniers animaux, M. de Quatrefages (*Hist. nat. des annélides*, t. I) n'a constaté qu'une seule fois ce phénomène. Dans ma note sont indiquées, chez une même espèce (*Diopatra gallica*), la reproduction de la tête et celle de la queue.

Chez les annélides, comme chez les larves d'insectes et les crustacés, la reproduction des parties se fait suivant les lois du développement embryonnaire normal.

LXIII. — *Mémoire sur la physiologie de la sèche* (*Sepia officinalis*, Linn.).

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, t. V, p. 115-139, 1867; Extrait in *Acad. des sciences*, 1867.)

Nos connaissances sont maintenant assez avancées en ce qui concerne l'anatomie des mollusques, et notamment des céphalopodes; mais leur physiologie, à l'exception des faits qui se déduisent de l'inspection anatomique des parties, nous était complétement inconnue. Je me suis proposé de remplir cette lacune, et j'espérais n'abandonner le sujet que lorsque la physiologie de la sèche, que j'ai prise pour exemple, serait aussi bien connue que celle de la grenouille.

Mon départ de Bordeaux m'a empêché d'aller aussi loin; j'ai cependant constaté un assez grand nombre de faits nouveaux.

Digestion. — Les deux bras dits à tort *tentaculaires*, que la sèche porte toujours enroulés dans des poches, sur les côtés de la tête, servent à la préhension de la proie et ne se déroulent qu'à ce moment.

Les glandes salivaires produisent un liquide acide. Le premier estomac est un simple gésier à parois épaisses, qui ne sécrète aucun liquide, et dans lequel cependant se fait la digestion, grâce aux sucs acides qu'y versent et les glandes salivaires et le cæcum spiral. Les aliments ne s'engagent jamais dans celui-ci, qui n'est donc qu'un réservoir sécréteur.

Le tissu du foie est fortement acide, sur le vivant même. Il contient, en outre, beaucoup de sucre.

L'intestin, d'un bout à l'autre, présente une réaction acide.

Circulation. — Les veines caves, les veines efférentes branchiales, les cœurs veineux et artériels avec leurs oreillettes, sont spontanément contractiles et peuvent être excités; les artères aortiques et branchiales ne sont contractiles ni spontanément ni à l'excitation. Les mouvements vermiculaires des veines caves et branchiales sont aidés par l'action de la peau qui les recouvre.

Les deux cœurs veineux battent ensemble, environ 40 fois par minute; le cœur aortique bat dans les intervalles.

La communication entre les artères et les veines se fait, dans la peau, dans les

membranes de l'os et jusque sur les parois des grands sinus vasculaires, par un réseau capillaire dont les ramifications ultimes ont environ 0mm, 15 de diamètre.

Sang. — Le sang est blanc, légèrement bleuâtre, surtout dans les veines branchiales; au contact de l'air, il prend une belle teinte bleu de ciel. Ce changemen de couleur est dû au sérum, qui est donc, au contraire de ce qui se passe chez les vertébrés, le siége de l'absorption oxygénée respiratoire. Ce sang donne spontanément un très-petit caillot plus lourd que le sérum; il se coagule en masse par la chaleur ou les acides. Après la coagulation par l'ébullition, il conserve sa teinte bleue, lorsqu'il a été au préalable exposé à l'air. Sa densité est environ 1010; il contient: eau, 891; matières solides, 109, dans lesquelles: fibrine et globules, 3 à 4; albumine, 31. On n'y trouve pas de plasmine.

Urine. — Chez tous les animaux, j'ai rencontré dans les sacs urinaires des agglomérations de cristaux donnant le murexide par les réactifs ordinaires. L'urine filtrée est acide; l'ébullition y détermine un léger trouble. Je n'ai pu y trouver d'urée.

Liquides de l'œil. — Le liquide de la chambre antérieure est filant comme du blanc d'œuf; cependant il ne se trouble ni par la chaleur, ni par les acides: il laisse 41 pour 1000 de matières solides, qui ne sont presque que des sels.

L'humeur vitrée n'est point filante; elle ne contient pas non plus de matières coagulables, elle laisse 37 pour 1000 de matières solides semblables à celles du liquide de la chambre antérieure.

Gaz de l'os. — L'os frais contient des gaz qui recueillis sous l'eau ne m'ont donné que des traces d'acide carbonique; le phosphore y absorbe 2 à 3 pour 100 d'oxygène; le reste est de l'azote.

Articulation du sac locomoteur et de l'entonnoir. — L'adhérence des boutons cartilagineux du sac avec les boutonnières de l'entonnoir est due exclusivement à la pression atmosphérique; une piqûre d'épingle suffit à la détruire. De petites fibres musculaires font le même effet, en abaissant énergiquement la petite saillie du sac.

Ventouses. — Chaque ventouse possède deux muscles: un longitudinal, qui aspire; un circulaire et marginal, qui fait détacher la cupule.

Contractilité. — Les muscles de la peau extérieure et intérieure au sac, ceux des chromatophores, les muscles des bras, de l'entonnoir, des branchies, de la poche du noir, du pénis, du sac locomoteur, se contractent à la façon des muscles striés des vertébrés. Au contraire, les muscles du tube digestif, des glandes rénales, de la glande dite *pancréatique*, présentent des contractions qui ne suivent pas immédiatement l'excitation, et persistent avec propagation vermiculaire.

Les muscles du sac locomoteur ne changent pas de volume pendant la contraction.

Innervation. — Des courants électriques qui sont incapables d'agir directement

sur un muscle le font contracter énergiquement quand ils sont portés sur son nerf.

Les nerfs issus des ganglions sous-œsophagiens et palléaux paraissent tout à la fois sensitifs et moteurs. La motricité nerveuse, sur l'animal qui se meurt, se perd du centre à la périphérie.

Les nerfs qui longent la grande veine pour se rendre au cœur artériel et aux cœurs branchiaux arrêtent en diastole ces organes pendant une forte excitation galvanique.

Le ganglion sus-œsophagien est insensible, et son excitation ne produit aucun mouvement. Son ablation totale ne trouble en rien ni les mouvements respiratoires, ni les mouvements de locomotion ; l'animal reste sensible, se meut quand on l'excite, et défend même avec ses bras l'endroit lésé. Mais il a évidemment perdu toute spontanéité et ne manifeste plus nulle intelligence.

La partie antérieure du ganglion sous-œsophagien (ganglion en patte d'oie) est le centre principal de l'accommodation des mouvements des bras à des usages d'ensemble. Les petits ganglions situés à la base de chaque bras et reliés par un nerf circulaire sont aussi les centres d'actions réflexes d'un bras sur un autre; enfin, les nerfs de chaque bras, qui contiennent des cellules nerveuses, sont le lieu d'actions réflexes bornées à ce bras.

Le ganglion sous-œsophagien est sensible et excitable; sa partie postérieure est le centre des mouvements respiratoires; elle enlevée, ces mouvements s'arrêtent aussitôt. L'excitation d'un des nerfs palléaux a pour conséquence, grâce à l'action réflexe sur cette moitié du ganglion, un mouvement dans la branchie, la nageoire et le muscle du sac du côté opposé.

Je n'ai jamais pu obtenir d'actions réflexes dans les gros ganglions étoilés; mais ils jouent le rôle de centres de renforcement. Un courant électrique très-faible, qui ne donne aucune contraction quand on le porte sur le nerf palléal, fait agir le manteau quand on le porte sur le ganglion étoilé. Lorsque l'animal est mort, on peut obtenir des mouvements en excitant le ganglion étoilé bien après que le nerf palléal est devenu inexcitable.

Mort. — Dans la mort par simple exposition à l'air, l'action volontaire disparaît la première ; les fonctions réflexes des centres ne durent guère qu'un quart d'heure ; puis disparaît en une demi-heure la motricité nerveuse, avec conservation, pendant quelques minutes, dans les ganglions étoilés. Les cœurs battent pendant deux heures environ; enfin la contractilité dure de trois à quatre heures, se perdant d'abord aux viscères, et en dernier lieu à la peau. Les cellules chromatophores se meuvent pendant une vingtaine d'heures (température de 20 à 24 degrés).

La *phosphorescence* ne survient que de trente-six à quarante-huit heures après la mort, à moins d'orage; elle n'a lieu que pour la peau, les muscles, les cartilages, la sclérotique, tandis que la peau qui recouvre les viscères, les centres nerveux, les

branchies, le foie, le testicule, l'intestin, le cristallin, exposés à l'air, ne deviennent jamais phosphorescents.

Mort par la chaleur. — Les sèches naissantes périssent par l'immersion durant deux minutes dans l'eau de 38 à 39 degrés. Elles sont encore contractiles, et leurs chromatophores sont très-excitables. Sur une sèche adulte, il est facile de voir que la chaleur abolit successivement l'action des centres nerveux, les battements du cœur, la motricité nerveuse, puis la contractilité musculaire. Le muscle prend alors une réaction acide. Le sang bleuit encore à l'air.

Mort par l'eau douce. — Immergée dans l'eau douce, une sèche s'agite violemment et meurt en dix minutes environ. Les chromatophores sont immobilisés en diastole, les muscles de la peau raidis, les cœurs branchiaux arrêtés; mais les muscles du sac et leurs nerfs sont à peu près intacts.

Poisons. — La strychine et le curare agissent sur les sèches de la même manière que sur les vertébrés. Seulement il faut, pour les tuer, une dose énorme de curare, tandis qu'elles sont extrêmement sensibles à l'action de la strychnine.

LXIV. — *Sur la prétendue action des crochets des ailes des papillons nocturnes.*

(*Soc. de biologie*, 1876.)

Ce ne sont pas eux qui, comme on l'enseigne, empêchent le relèvement des ailes des papillons nocturnes. Le mécanisme est bien plus complexe.

LXV. — *Sur le ganglion nerveux thoracique des araignées.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Lorsqu'on le pique avec une aiguille fine, on arrête immédiatement tous les mouvements spontanés et réflexes.

LXVI. — *Sur les appendices dorsaux des* Eolis.

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1867.)

Leurs glandules contiennent de la matière glycogénique, et sont, par conséquent, assimilables à un foie.

H. — Divers

LXVII. — *Sur l'extraction des gaz du sang.*

(*Pression*, p. 613-624.)

Étude critique de divers procédés opératoires. Perfectionnements qui permettent d'extraire, d'un seul coup de la pompe à mercure, tous ou presque tous les gaz du sang. Détermination de la précision qu'on peut atteindre dans les analyses.

LXVIII. — *Influence de diverses conditions sur la quantité des gaz contenus dans le sang artériel.*

(*Pression*, p. 624-629.)

Les saignées antérieures n'ont d'influence que si elles sont abondantes ; l'accélération de la ventilation pulmonaire augmente un peu l'oxygène, diminue beaucoup l'acide carbonique ; les contractions musculaires énergiques diminuent notablement l'oxygène sans changer l'acide carbonique.

LXIX. — *Sur le sang des animaux nouveau-nés.*

(*Leçons*, p. 148.)

Malgré la communication interauriculaire et le canal artériel, le sang artériel ne se mélange pas sensiblement au sang veineux.

LXX. — *Quelques effets d'une forte injection d'air dans le cœur gauche.*

(*Soc. de biologie*, 1870.)

On trouve de l'air dans les vaisseaux, dans le tissu cellulaire, dans les séreuses.

LXX *bis*. — *Sur l'injection d'air dans les veines.*

(*Soc. de biologie*, 1873.)

La quantité d'air nécessaire pour tuer dépend de la température et de la rapidité de l'injection.

L'animal paraît éprouver des avantages de la respiration d'oxygène pur, qui permet la dialyse de l'azote à travers la muqueuse pulmonaire.

LXXI. — *Sur un critérium pour les effets révivificateurs de la transfusion sanguine.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1866 ; *Leçons*, p. 95.)

Analyse des divers phénomènes que présente un chien couché sur le dos et soumis à une hémorrhagie artérielle rapide, dans le but d'en trouver un qui satisfasse aux deux conditions suivantes : 1° l'animal qui le présente est condamné à une mort certaine, alors même qu'on arrête l'effusion du sang ; 2° la transfusion du sang enlevé rappelle à coup sûr l'animal à la vie.

Les convulsions simultanées des quatre membres, qui arrivent dans presque tous les cas, répondent seules à ces conditions. Elles peuvent donc servir de critérium pour la question de savoir si, lorsque la transfusion a été faite avec du sang de provenances diverses ou soumis à des actions modificatrices diverses, le retour de l'animal à la vie est bien dû à la transfusion elle-même.

Les auteurs innombrables qui ont écrit sur la transfusion ayant négligé d'établir un pareil critérium, leurs expériences manquent toutes de base.

J'ai pu établir, grâce à ce critérium : 1° qu'on ramène à la vie un animal exsangue en lui injectant le tiers du sang enlevé ; 2° que l'intégrité des globules sanguins est nécessaire : si on les détruit par la congélation prolongée, le sang réchauffé a perdu son action vivifiante ; 3° que le simple refroidissement du sang à zéro, ne lui enlève pas ses propriétés ; la température de 45° le tue complétement ; 4° que le sang qui a subi l'action de l'oxygène à haute tension est mort, etc.

LXXII. — *Sur la théorie des peptogènes de M. Schiff.*

(*Dict. de méd. et de chir. prat.*, art. Digestion, 1869.)

Expériences contraires à cette théorie, alors très-florissante.

LXXIII. — *Sur certaines irrégularités prétendues des mouvements animaux.*

(*Leçons*, passim.)

Les mouvements les plus irréguliers en apparence, comme ceux des convulsions dues à la strychnine, au curare, etc., comme ceux de la chorée des chiens, sont en réalité des rhythmes à modulations très-compliquées et à périodes assez longues. La méthode graphique démêle ce prétendu désordre.

LXXIV. — *Essais d'expériences sur la transmission héréditaire de certaines lésions chirurgicales : relations trophiques entre les yeux et les lobes optiques.*
(*Soc. de biologie*, 1870.)

Il s'agit de l'ablation des yeux chez les rats nouveau-nés. Les expériences ont toujours été interrompues à la quatrième génération par la mort des animaux.

Il en est resté seulement ceci : c'est que l'ablation des yeux chez les nouveau-nés a pour conséquence une certaine atrophie des lobes optiques.

LXXV. — *Sur les effets de l'injection de glycose en grande quantité dans les veines.*
(*Soc. de biologie*, 1876.)

Un chien peut survivre à l'injection dans ses vaisseaux du dixième du poids de son corps en glycose. Cet excès énorme s'élimine en moins de vingt-quatre heures.

Si on empêche l'élimination en liant les uretères, la mort arrive rapidement quand on a injecté le trentième du poids du corps; on trouve alors du sucre dans toutes les sécrétions.

Si, les artères rénales liées, l'excès de glycose n'est pas mortel, on n'en retrouve plus que dans l'œil, lorsque l'animal meurt de la ligature elle-même; un peu avant la mort, les muscles prennent une réaction acide.

LXXVI. — *Sur l'origine du sucre du lait.*
(*Soc. de biologie*, 1878.)

La lactose sécrétée par la mamelle est-elle formée dans cette glande ou provient-elle de la glycose hépatique formée en excès et se transformant sur place en lactose?

Si la première hypothèse est exacte, on devrait trouver dans la mamelle en action une substance glycogénique.

Si c'est la seconde, on devrait en extraire un ferment capable de transformer la glycose en lactose. On invoque en sa faveur ce fait, que les femelles chez qui on supprime la lactation ont dans l'urine de la glycose et non de la lactose.

Une expérience simple paraît résoudre la question. On enlève les mamelles d'une femelle qui, une fois guérie, devient pleine et met bas. S'il y a hypersécrétion de glycose hépatique, elle devra apparaître dans l'urine; si la lactose est formée dans la mamelle, il n'y aura rien. Or, on ne trouve pas de glycosurie. J'ai appris,

cette expérience faite, qu'elle avait déjà été exécutée avec le même résultat, mais dans un autre but, par M. de Sinéty.

Il fallait trouver le lactogène mammaire. J'ai traité des mamelles en activité par l'eau bouillante et l'alcool, et j'en ai extrait une substance qui, bien débarrassée de sucre, en forme spontanément au bout de quelque temps d'exposition à l'air. Cette substance diffère notablement du glycogène hépatique.

La question prenant alors un aspect plus chimique que physiologique, j'ai prié M. Schützenberger de m'aider de ses conseils, et nous poursuivons en commun ces recherches.

LXXVII. — *Sur la formation d'acide acétique et la formation probable d'alcool, par les cellules animales maintenues dans des conditions d'asphyxie.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Des fragments de foie maintenus dans l'oxygène ou le protoxyde d'azote comprimé ont formé en quantité de l'acide acétique.

J'en ai extrait également par la distillation une matière qui donne la plupart des réactions de l'alcool. Mais la quantité en étant extrêmement faible, je n'ai pu obtenir nettement l'inflammation caractéristique, ce qui m'empêche de conclure avec certitude.

LXXVIII. — *Sur le maximum de taille que puissent atteindre les animaux vertébrés.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Ce maximum est fixé par la puissance du cœur, qui est la même dans chacune des grandes classes. Ainsi, chez les mammifères, il est de 5 à 6 mètres; chez les reptiles, de 1 à 2 mètres.

Ces dimensions sont réalisées dans la nature vivante et n'ont pas été dépassées dans les temps géologiques.

LXXIX. — *Sur les variations de l'urée en rapport avec la nourriture. Sur les phases horaires d'excrétion de l'urine et de l'urée. Sur les rapports entre la richesse de l'urine en urée et sa coloration.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Voici les conclusions de ce travail, qui comprend un grand nombre d'expériences faites sur moi-même.

A. — Une augmentation de 250 grammes de viande dans la nourriture moyenne donne 3 grammes de plus d'urée pour 100 grammes de viande, ce qui ne correspond pas à plus de la moitié de l'azote contenu dans le surplus de viande absorbée. Cette augmentation d'urée se fait dès le jour même, ce qui tend à prouver que l'urée provient des aliments; elle cesse immédiatement par le retour à la nourriture normale.

La suppression de toute nourriture animale donne encore l'équivalent de 3 grammes d'urée par 100 grammes de viande au moins. Le retour aux chiffres primitifs ne se fait qu'après deux ou trois jours de nourriture normale.

B. — Constatation nouvelle, mais beaucoup plus précise et détaillée qu'on ne l'avait jamais faite, des inégalités horaires si considérables dans la sécrétion de l'urée. On ne peut les exprimer sans le secours de nombreux graphiques. Elles persistent malgré le repos au lit et la suppression de la nourriture animale. Elles diminuent beaucoup par l'augmentation notable de cette nourriture.

Les variations de la quantité d'urine sécrétée marchent, dans les trois quarts des cas, dans le même sens que celles de la quantité d'urée.

C. — Une urine foncée est toujours riche en urée, et une urine claire est pauvre. Mais la hiérarchie des colorations est loin de correspondre à celle des richesses en urée.

LXXX. — *Sur des calculs phosphatiques fournis par une alimentation exclusivement animale.*

(*Soc. de biologie*, 1878.)

Un chien dans la vessie duquel avait été introduit un corps étranger, nourri exclusivement à la viande, a formé des calculs de phosphate sans trace d'acide urique.

DEUXIÈME PARTIE

PHYSIOLOGIE VEGÉTALE

LXXXI. — *Recherches sur les mouvements de la Sensitive.*

(1er Mémoire : *Soc. des sciences de Bordeaux*, t. IV, p. 11-47, 1866; *Journal de Robin*, 1867; Extrait *in Acad. des sciences*, 1867.)

Les recherches expérimentales exposées dans ce premier mémoire ont pour but de comparer les propriétés élémentaires auxquelles la sensitive doit son impressionnabilité et sa motilité, avec celles des éléments nerveux et musculaires, des animaux. Elles amènent aux conclusions suivantes :

1° Les pétioles primaires de la sensitive, après s'être abaissés au début de la nuit, se relèvent bien au-dessus du niveau qu'ils conserveront pendant la période diurne : celle-ci étant, contrairement à ce qu'on enseigne d'ordinaire, caractérisée par l'abaissement et non par l'élévation des pétioles primaires. Le maximum d'exhaussement a lieu vers minuit.

2° Les renflements moteurs situés à la base des pétioles et des folioles peuvent être considérés comme composés de ressorts faisant effort pour pousser la partie qu'ils meuvent du côté opposé à celui qu'ils occupent (Lindsay, Dutrochet). Dans les pétioles primaires, la valeur du ressort supérieur est à celle du ressort inférieur, dans l'état diurne, environ comme 1 à 3.

3° Le mouvement provoqué a lieu par suite d'une perte d'énergie du ressort inférieur, celle du ressort antagoniste n'étant nullement augmentée, et peut-être même étant un peu diminuée.

4° Il n'existe aucun tissu contractile comparable au tissu musculaire et déterminant le mouvement provoqué.

5° Les mouvements nocturnes ont lieu par suite d'une augmentation de tension des renflements moteurs. Dans les pétioles primaires, le ressort supérieur augmente d'énergie pendant la nuit ; le ressort inférieur, après avoir un peu diminué, augmente aussi consécutivement : de la puissance réciproque de ces ressorts dépend la position du pétiole aux divers instants de la nuit.

6° Les mouvements rapides provoqués par une excitation et les mouvements lents, spontanés, qui constituent l'oscillation quotidienne, sont donc des phénomènes d'ordre tout à fait différent. L'éther les sépare les uns des autres, abolissant les mouvements provocables, respectant les mouvements spontanés.

7° Ceux-ci reconnaissent pour phénomène antérieur une modification dans l'afflux du liquide que contient le parenchyme des renflements. Les autres n'ont pu être encore rapportés à une cause prochaine.

8° La sensitive se rapproche des êtres animés par la présence d'éléments qui ransmettent les excitations et déterminent les mouvements (transmissibilité, excitatricité motrice), et par ce fait que l'excitabilité n'appartient chez elle qu'aux éléments doués de motricité ou de transmissibilité.

9° Elle s'en éloigne par l'absence d'éléments contractiles et par les rapports anatomiques et fonctionnels directs qu'affectent ses éléments excitables transmetteurs et excitateurs avec ses éléments moteurs.

LXXXI *bis*. — *Recherches sur les mouvements de la Sensitive.*

(2e Mémoire : *Soc. des sciences de Bordeaux*, p. 1-98, avec 12 fig. intercalées, 1870; *Journal de Robin*, 1871.)

Dans ces recherches nouvelles, j'ai considéré l'étude de la sensitive à deux points de vue différents. J'ai d'abord, comme dans ma première communication, et à la suite des auteurs qui m'ont précédé, étudié de près les mouvements si remarquables qu'exécutent les feuilles de cette plante, cherché à préciser leur mécanisme et tenté d'expliquer leur raison prochaine. En second lieu, je me suis servi de la sensitive comme d'une sorte de réactif délicat pour analyser l'influence, sur les végétaux en général, de certaines circonstances extérieures, dont les conséquences sont chez elle, en raison de son étonnante susceptibilité, des plus faciles à saisir. C'est pour cette raison que j'ai baptisé la sensitive un *végétal à sang chaud*.

Voici l'indication des questions traitées dans ce mémoire :

1° Comparaison entre la température de la tige et celle du renflement moteur.

Le renflement moteur du pétiole primaire est toujours à une température inférieure à celle de la tige. L'aiguille d'un galvanomètre mis en communication avec des éléments thermo-électriques convenablement disposés a donné des déviations de 6 à 22 degrés. Il se passe, dans cet organe de très-faible volume, des phénomènes nutritifs qui consomment de la chaleur. C'est le premier exemple de ces phénomènes constatés dans un organisme vivant.

Les actes qui déterminent le mouvement provoqué produisent, au contraire, de la chaleur : l'aiguille rétrograde de 2 à 4 degrés. (Acad. des sciences, 1869.)

2° Influence de la lumière et de l'obscurité sur les mouvements.

a. *Réveil à l'aide de lumières artificielles intenses.* — Une sensitive endormie (folioles fermées) peut être réveillée par l'action d'une forte lumière artificielle, soit pendant que brille cette lumière, ce qu'on savait déjà, soit après qu'elle a été éteinte, par une action consécutive.

b. *Éclairage continu et obscurité continue.* — J'ai observé et représenté dans un tableau graphique les mouvements des pétioles primaires observés toutes les deux ou trois heures, pendant dix-sept jours et dix-sept nuits de suite, sur deux sensitives qui, après quatre jours d'observations dans des conditions normales, ont été soumises l'une à l'obscurité continue (cinq jours), l'autre à un éclairage continu (six nuits), puis replacées dans leurs conditions premières.

J'ai vu ainsi que par l'éclairage continu les feuilles s'immobilisent redressées, au maximum de tension, tandis que par l'obscurité continue, elles s'immobilisent abaissées, au minimum de tension.

3° Influence de la lumière diversement colorée (voy. LXXXII *bis*).

4° Graphique du mouvement provoqué. Ordre de succession des mouvements provoqués en rapport avec le lieu d'excitation. Vitesse de la transmission : elle est de 3 à 5 milimètres par seconde dans le pétiole. Mouvements des feuilles submergées.

LXXXI *ter*. — *Sur la formul egénérale des mouvements spontanés des fleurs et des feuilles.*

(*Acad. de sciences*, 1878.)

Cette formule est celle-ci : Les organes se disposent pour passer la nuit de manière à perdre le moins possible par évaporation.

Le vent, dessiccateur par excellence, produit le même effet lorsqu'il excite les sensitives.

Cependant l'évaporation ne joue pas à un degré important le rôle de cause dans les mouvements spontanés de sommeil et de réveil, puisqu'ils se produisent presque régulièrement sur une sensitive complétement submergée.

LXXXI *quater*. — *Sur la cause intime des mouvements spontanés des plantes et de l'héliotropisme.*

(*Acad. des sciences*, 1878.)

J'avais conclu de mes recherches de 1870 que les mouvements de sommeil et de

réveil s'expliqueraient facilement, si l'on suppose qu'alternativement il s'emmagasine dans le renflement moteur, lieu du mouvement, pour en disparaître ensuite, une matière douée d'un grand pouvoir endosmotique.

Je montre, dans ce nouveau travail, que cette matière est la glycose.

Préparée pendant le jour par les folioles que frappe le soleil, la glycose doit s'accumuler vers le soir dans le renflement moteur, et là attirer progressivement l'eau de la tige; d'où augmentation graduelle de la tension du ressort moteur, par une sorte d'érection due à une action chimique. Cette augmentation, chez la sensitive, commence, comme je l'ai montré à l'encontre des descriptions classiques, une ou deux heures avant la nuit, pour atteindre son maximum un peu après minuit. Alors arrive une détente qui, assez rapide jusqu'au moment où le soleil apparaît, se ralentit tout en se manifestant jusqu'au soir. C'est que la glycose cessant de se former pendant la nuit et se détruisant par les actes nutritifs, la tension due à l'hydratation s'en va avec elle, rapidement d'abord, puis plus lentement quand, en présence de la lumière, il commence à se reformer de la glycose nouvelle.

La même explication s'applique à l'héliotropisme :

Si, sur la partie la plus éclairée du renflement moteur d'un pétiole primaire de sensitive, on place une goutte d'encre, on voit presque immédiatement la feuille s'incliner dans un sens qui indique que la partie sous-jacente du renflement a augmenté d'énergie. Une goutte d'eau ne produit aucun effet; mais si on lui ajoute un morceau d'encre de Chine, on voit, au fur et à mesure de la dissolution, s'opérer le mouvement du pétiole.

L'étude du mouvement périodique nous conduit donc à celle de l'héliotropisme, qui s'explique fort aisément par l'action sur la glycose, ou tout au moins sur son hydratation, des rayons lumineux. Leur influence diminuant la tension du côté du renflement moteur qu'ils frappent, le côté opposé augmente relativement d'énergie; d'où un certain mouvement. Le soleil tournant alors la feuille le suit, toujours en vertu de la diminution de tension dans la région éclairée. Il es évident que ce que je dis des feuilles s'applique également aux tiges.

LXXXII. — *Action de la lumière verte sur la sensitive. — Influence des diverses couleurs sur la végétation.*

(*Acad. des sciences*, 1870-1871.)

Expériences faites sous des châssis colorés, avec des plantes appartenant à tous les grands groupes végétaux.

Les conclusions sont les suivantes :

La couleur *verte* est presque aussi funeste pour les végétaux que l'obscurité.

Il ne serait cependant pas exact de dire que la lumière verte n'a aucune influence sur les végétaux; en effet, les plantes fortement héliotropes se tournent et s'inclinent du côté du vert, plutôt que du côté du rouge.

La couleur rouge les fait s'allonger d'une manière singulière.

En définitive, toutes les couleurs prises, isolément, sont mauvaises pour les plantes; leur réunion suivant les proportions qui constituent la lumière blanche est nécessaire pour la santé des végétaux. Ainsi, les jardiniers doivent renoncer à l'emploi des verres ou abris colorés pour serres ou châssis.

LXXXII *bis.* — *Influence des lumières colorées sur les mouvements des feuilles et des fleurs.*

(2e Mémoire *Sur la sensitive*, voy. n° LXXXI *bis.*)

1° Les rayons bleus et violets ont pour action d'étaler les folioles de la sensitive et d'abaisser ses pétioles primaires (diminution de tension); les rayons jaunes rouges, au contraire, font redres er les pétioles et ferment à demi les folioles.

2° Dans les rayons bleus et violets, la sensitive ferme ses folioles plus tard (augmentation de tension), et se réveille plus tôt que dans les rayons rouges et jaunes.

3° Les folioles fermées après excitation se rouvrent (perte de tension) aussi vite sous l'influence des rayons bleus et violets que sous celle de la lumière blanche; la région jaune rouge retarde beaucoup leur étalement; l'obscurité plus encore.

4° Les fleurs de Colchique d'automne, les capitules de *Bellis perennis*, s'ouvrent plutôt le matin derrière les verres bleus que derrière les rouges (Soc. de biologie, 187) .

5° En un mot, l'augmentation de tension est due à l'action des rayons les moins réfringents, et la diminution à celle des plus réfringents.

LXXXII *ter.* — *Action élémentaire des diverses régions du spectre solaire sur la végétation.* — *Explication de l'action mortelle des verres verts sur les*

(*Revue scient.*, 1878; *Soc. de biologie*, 1878.)

Les végétaux meurent derrière des dissolutions de chlorophylle même assez claires pour n'absorber qu'une bande dans le rouge.

Ils meurent derrière les verres verts, qui arrêtent presque tout le rouge; ils vivent derrière les verres rouges, qui arrêtent tout, sauf l'orangé et le rouge.

Les rayons nécessaires à la vie de la plante sont donc ceux qui correspondent à la bande d'absorption de la chlorophylle dans le rouge.

Il résulte de tous les faits antérieurement connus ou par moi constatés, que chaque région du spectre a son action spéciale :

La région bleue violette forme la chlorophylle, détruit la tension et détermine l'héliotropisme.

La région rouge détermine la réduction de l'acide carbonique (maximum de la bande d'absorption de la chlorophylle), permet l'accroissement de poids des plantes, et augmente la tension végétale.

LXXXIII. — *Respiration des tissus végétaux.*

(*Leçons*, p. 32.)

Tous les tissus végétaux absorbent de l'oxygène et émettent de l'acide carbonique, Ce qu'on appelle la respiration végétale est la somme algébrique de la respiration des tissus et de l'action de la chlorophylle.

LXXXIII *bis*. — *Sur l'antagonisme entre la fonction chlorophyllienne et la respiration, chez les végétaux.*

(*Leçons*, p. 34; *Soc. de biologie*, 1871.)

1° Un oignon de jacinthe, même quand il a toutes ses feuilles, placé au soleil, consomme de l'oxygène et produit de l'acide carbonique.

2° Même à l'air libre et à la lumière diffuse, un haricot qui pousse perd de son poids (matière sèche) jusqu'à ce qu'il ait atteint 50 à 60 centimètres de haut.

LXXXIV. — *Sur la réviviscence de la Selaginella lepidophylla.*

(En commun avec M. Bureau, *Soc. de biologie*, 1868.)

Cette Sélaginelle, après avoir été desséchée au soleil, puis maintenue dans un courant d'air à 50 degrés pendant assez de jours pour ne plus perdre de son poids, revient parfaitement à la vie lorsqu'on l'immerge dans l'eau pour la planter ensuite. Les mêmes résultats ont été obtenus avec le Ceterach officinal. Ce sont là des faits assez importants à cause de la structure complexe de ces plantes, qui contiennent les mêmes éléments anatomiques que les végétaux dits supérieurs.

LXXXV. — *Sur la maturation et le blettissement des fruits.*

(*Pression*, p. 919.)

La maturation, qu'arrête l'oxygène en tension, est un fait de la vie cellulaire.

Le blettissement, qui y résiste, est dû soit à une fermentation diastasique, soit à une oxydation directe.

LXXXVI. — *Action de l'oxygène à haute tension sur la végétation et la germination.*
(*Pression*, p. 845-865. Voy. n° VII, ch. V.)

LXXXVII.— *Action de l'acide carbonique en excès sur la végétation et la germination.*
(*Pression*, p. 1015.)

Avec 20 ou 30 pour 100 de CO^2, la germination est ralentie; avec 50 pour 100, les graines sont tuées.

LXXXVIII. — *Sur l'absorption de la strychnine par les végétaux.*

On retrouve dans les racines et les feuilles la strychnine avec laquelle on a arrosé des radis, etc.

TROISIÈME PARTIE

ANATOMIE ET ZOOLOGIE

LXXXIX. — *Sur la présence de vraies trachées dans les jeunes pousses de fougères.*

(*Soc. philomathique*, 1859.)

On enseignait partout, depuis les travaux d'H. Mohl, que les fougères ne possèdent point de véritables trachées déroulables. Ce caractère était un de ceux qui séparaient les végétaux cotylédonés des cryptogames vasculaires. Le présent travail montra que les jeunes pousses des fougères contiennent de véritables trachées, et ne contiennent même que cet ordre de vaisseaux. Depuis, ce fait a été confirmé, et M. Duval-Jouve a retrouvé ces vaisseaux déroulables dans les parties ligneuses complétement développées des fougères.

XC. — *Observations sur l'anatomie du phoque.*

(*Soc. philomathique*, 1862.)

Indication de fibres diaphragmatiques non encore décrites, servant à ouvrir le sphincter de Burrow au moment de l'inspiration. — Persistance de la veine ombilicale chez le phoque adulte.

XCI. - *Anatomie du système nerveux de la Patelle* (*Patella vulgaris*

(*Soc. philomathique*, 1862.)

Étude détaillée de ce système. — Comparaison avec celui de l'Haliotide.

XCII. — *Œuf de poule complet inclus dans un autre œuf complet.*
(*Soc. philomathique*, 1862.)

XCIII. — *Sur un cas de monstruosité triple (genre triparagnathe).*
(*Soc. philomathique*, 1863.)

Il s'agissait d'un mouton portant sous chaque oreille une petite bouche armée de dents.

XCIV. — *Sur deux poulets déradelphes.*
(*Soc. de biologie*, 1863.)

XCV. — *Sur une monstruosité présentée par une patelle.*
(Publiée par Fisher, dans *Soc. philomathique*, 1864.)

XCVI. — *Sur un monstre double de la famille des Monosomiens.*
(*Soc. philomathique*, 1864; *So. de biologie*, 1864, 1 pl.)

Ce monstre, dont il est assez difficile de marquer la place dans le cadre tératologique, a donné lieu a une discussion entre M. Goubaux et M. Bert. Depuis, le savant professeur d'Alfort, qui s'est rangé à l'opinion de M. Bert, a fait de cet animal le type d'un genre nouveau.

XCVII. — *Catalogue méthodique des animaux vertébrés qui vivent à l'état sauvage dans le département de l'Yonne, avec la clef des genres et la diagnose des espèces.*
(Paris, 1864, XXII-121 pages, avec 55 figures.)

Ce catalogue contient la description succincte de 47 mammifères, 215 oiseaux, 11 reptiles, 14 amphibiens, 32 poissons, recueillis dans le département.

XCVIII. — *Sur les affinités de la classe des reptiles vrais avec celle des oiseaux.*
(*Soc. philomathique*, 1865; *Soc. de biologie*, 1865.)

Les caractères tirés principalement du squelette, de l'appareil circulatoire, de la structure de l'œuf, de la constitution anatomique de la peau, rapprochent étroitement ces deux classes.

Ce travail est antérieur à celui de M. Huxley sur le même sujet.

XCIX. — *Sur quelques points de l'anatomie du Fou de Bassan* (*Sula bassana* Briss.).

(*Soc. philomathique*, 1865; *Soc. de biologie*, 1865.)

Description très-détaillée des sacs aériens sous-cutanés, dont l'existence avait été niée par des auteurs récents. Ceux du cou dépendent des réservoirs dits *cervicaux*, ceux du corps, du réservoir dit *claviculaire*.

C. — *Sur la membrane du vol du Phalanger volant* (*Didelphis petaurus* Shaw.).

(*Soc. philomathique*, 1866.)

CI. — *Note sur la présence de l'*Amphioxus lanceolatus *dans le bassin d'Arcachon, et sur ses spermatozoïdes.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1866.)

Première constatation de la présence de cet animal sur les côtes océaniques de France. C'est aussi la première fois qu'on le voit émettre spontanément des spermatozoïdes mûrs, ce qui indique qu'il est bien un animal ayant acquis sa forme définitive.

CI *bis*. — *Sur l'anatomie de l'Amphioxus.*

(*Acad. des sciences*, 1867.)

Détails sur l'augmentation du nombre des branchies avec l'âge, sur les organes générateurs, la structure de la corde dorsale, la terminaison des nerfs cutanés, etc.

CII. — *Note sur la présence, dans la peau des Holothuries, d'une matière insoluble dans la potasse caustique et l'acide chlorhydrique concentré.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1866.)

CIII. — *Sur le sang de divers animaux invertébrés.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1867.)

Remarques sur la composition chimique du sang des synaptes, des siponcles, des crabes et des sèches.

CIV. — *Mesures prises sur un jeune Gorille en chair.*

(*Soc. des sciences de Bordeaux*, 1868.)

Nombreuses mensurations prises sur un animal conservé dans l'alcool. Elles sont prises en suivant le tableau dressé pour l'homme par la Société d'anthropologie. Elles pourront servir pour comparer exactement les modifications de forme du gorille, de l'enfance à l'âge adulte, avec les modifications correspondantes dans l'espèce humaine.

CV. — *Sur une forme non encore décrite des trachées d'insectes.*

(*Leçons*, p. 270.)

Forme réticulée du fil spiral.

CVI. — *Sur un monstre humain double vivant, du genre pygopage, connu sous le nom de Millie-Christine.*

(*Soc. de biologie*, 1873; *Soc. anth.*, 1874.)

PARIS. — IMPRIMERIE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.